Série de la Protection de l'environnement

Les piles usées et l'environnement : étude de faisabilité sur leur récupération

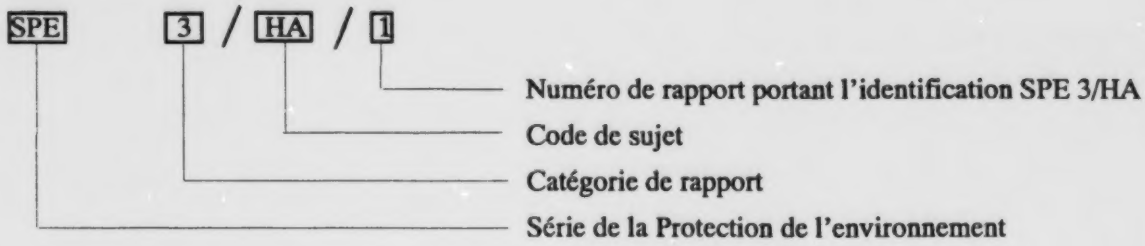
Rapport SPE 4/CE/1
Mai 1991

Canada

Environnement Canada | Environment Canada

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotation :



Catégories

1 Règlements/Lignes directrices/ Codes de pratiques
2 Évaluation des problèmes et options de contrôle
3 Recherche et développement technologique
4 Revues de la documentation
5 Inventaires, examens et enquêtes
6 Évaluations des impacts sociaux, économiques et environnementaux
7 Surveillance
8 Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9 Guides

Sujets

AG Agriculture
AN Technologie anaérobie
AP Polluants atmosphériques
AT Toxicité aquatique
CC Produits chimiques commerciaux
CE Consommateurs et environnement
CI Industries chimiques
FA Activités fédérales
FP Traitement des aliments
HA Déchets dangereux
IC Chimie inorganique
MA Pollution marine
MM Exploitation minière et traitement des minéraux
NR Régions du Nord et rurales
PF Papier et fibres
PG Production d'électricité
PN Pétrole et gaz naturel
RA Réfrigération et climatisation
RM Méthodes de référence
SF Traitements de surface
SP Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM Méthodes de référence normalisées
TS Systèmes de transport
TX Textiles
UP Pollution urbaine
WP Protection/préservation du bois

Des sujets et des codes additionnels sont introduits au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Cette publication est imprimée sur du papier contenant des rebuts recyclés.

91-04492/

Les piles usées et l'environnement : étude de faisabilité sur leur récupération

par

Eutrotech Inc.
Saint-Robert (Québec)

pour la

Direction du développement technologique
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada

Rapport SPE 4/CE/1
Mai 1991

DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)

Eutrotech Inc.

Les piles usées et l'environnement : étude de faisabilité sur leur récupération

(Rapport ; SPE 4/CE/1)
Comprend un résumé en anglais.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-96167-6
N° de cat. MAS En49-25/4-1F

1. Accumulateurs -- Industrie -- Canada -- Aspect de l'environnement. 2. Accumulateurs -- Recyclage. 3. Mercure -- Déchets -- Élimination. I. Canada. Environnement Canada. II. Canada. Direction du développement technologique et des services techniques. III. Coll.: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 4/CE/1.

TD196.M3854 1990 363.72'88 C90-098651-4

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
No de catalogue En 49-25/4-1F
ISBN 0-662-96167-6
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

Avis de révision

Le présent rapport a été revu par la Direction du développement technologique d'Environnement Canada, qui en a approuvé la publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu est conforme aux vues et aux politiques d'Environnement Canada. Toute mention d'une marque déposée ou d'un produit commercial ne constitue nullement une recommandation de la part d'Environnement Canada.

Commentaires des lecteurs

Les personnes qui désirent faire part de leurs commentaires sur la teneur du présent rapport sont priées de les adresser à :

André Pelletier/Richard St-Germain
Protection de l'environnement
Région du Québec
Conservation et Protection
Environnement Canada
Montréal (Québec)
H3B 3H9

This report is also available in English under the title *Used Batteries and the Environment: A Study*. Please contact:

Publications
Environmental Protection
Conservation and Protection
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Résumé

L'élimination des piles usées constitue une source importante de rejets de métaux lourds, tout particulièrement de mercure, dans l'environnement. L'accroissement important des ventes de piles alcalines, qui contiennent en moyenne 100 fois plus de mercure que les piles charbon-zinc traditionnelles, a eu un effet marqué sur les quantités de mercure rejetées dans l'environnement.

Selon les informations recueillies, la consommation canadienne de piles neuves représenterait un rejet annuel d'environ 48 tonnes de mercure dans l'environnement, soit 35 % de l'ensemble des sources anthropogéniques de mercure au Canada, devançant ainsi largement les émissions provenant des secteurs industriels. Compte tenu des expériences entreprises dans plusieurs pays européens, aux États-Unis et au Japon, la réalisation d'un programme de récupération des piles usées serait difficile et probablement peu efficace. Par contre, il serait possible de réduire d'environ 80 % les émissions de mercure imputables aux piles usées en :

- *encourageant la substitution des piles à l'oxyde de mercure par des piles contenant peu ou pas de mercure, ce qui est actuellement techniquement et économiquement réalisable;*
- *adoptant des mesures incitatives et/ou législatives similaires à celles de la Communauté économique européenne qui visent à réduire de 85 % la concentration de mercure dans les piles alcalines;*
- *installant des équipements de lavage des gaz de combustion sur les incinérateurs municipaux, le mercure sous forme gazeuse n'étant pas retenu par les systèmes de dépoussiérage.*

Abstract

Used batteries are a significant source of heavy metals (especially mercury), and when they are discarded, this waste is dumped into the environment. On average, alkaline batteries contain 100 times more mercury than traditional carbon-zinc batteries. The massive increase in the sales of alkaline batteries has directly affected the quantity of mercury released into the environment.

Canadian consumption of new batteries accounts for the annual release of about 50 tonnes of mercury into the environment. This represents 35% of the mercury released by human activities in Canada, a figure that exceeds the emissions produced by industrial sectors. Studies done in Europe, the United States, and Japan, indicate that a battery recovery program would be a difficult undertaking, and would not be very effective. However, it is possible to reduce 80% of mercury emissions from used batteries, by:

- *replacing mercury oxide batteries with those containing little or no mercury (this is both technically and economically feasible);*
- *adopting legislative measures, similar to those in the European Economic Community, which aim to reduce the mercury levels in alkaline batteries by 85%; and*
- *installing wet gas scrubbing equipment in municipal incinerators; since mercury, emitted as a gas, is not retained by the fly-ash removal systems currently used.*

Table des matières

Résumé v
Abstract vi
Liste des figures x
Liste des tableaux xii
Sommaire et conclusions xv
Remerciements xviii

Section 1
Introduction 1

Section 2
Mercure et environnement 2
2.1 Généralités sur le mercure 2
2.2 Utilisations du mercure 2
2.3 Sources d'émissions de mercure dans l'environnement 4
2.3.1 Sources naturelles 4
2.3.2 Sources anthropogéniques 4
2.4 Toxicité du mercure 4

Section 3
Piles et accumulateurs 7
3.1 Généralités 7
3.2 Particularités énergétiques des piles primaires 8
3.3 Différents types de piles et leur contenu en mercure 8
3.3.1 Piles charbon-zinc 9
3.3.2 Piles alcalines 11
3.3.3 Piles à l'oxyde de mercure 14
3.3.4 Piles à l'oxyde d'argent 15
3.3.5 Piles zinc-air 16
3.3.6 Piles au lithium 16
3.4 Le mercure dans les piles : fonction et concentration 17
3.5 Différents types d'accumulateurs 17
3.5.1 Accumulateurs au nickel-cadmium 19

Section 4
Consommation des piles 21
4.1 Marché des piles charbon-zinc et alcalines 21
4.2 Marché des piles boutons 23
4.3 Marché des piles rechargeables 23

4.4 Tendances et développement du marché canadien des piles et accumulateurs **24**
4.5 Développement et tendances du marché **25**

Section 5
Mercure et élimination des ordures ménagères **32**
5.1 Mercure dans les ordures ménagères **32**
5.2 Émissions de mercure en fonction du mode d'élimination **33**
5.2.1 Enfouissement sanitaire **33**
5.2.2 Incinération **34**
5.3 Cadmium dans les ordures ménagères **35**

Section 6
Expérience étrangère **39**
6.1 Actions et législations multilatérales **39**
6.2 Programmes de collecte des piles usées à l'étranger **41**
6.2.1 Traitement industriel des piles collectées **44**
6.2.2 Suisse **47**
6.2.3 Pays-Bas **53**
6.2.4 France **57**
6.2.5 République fédérale d'Allemagne **63**
6.2.6 Suède **65**
6.2.7 Danemark **65**
6.2.8 Autriche **66**
6.2.9 Autres pays européens **68**
6.2.10 Japon **70**
6.2.11 États-Unis **71**

Section 7
Quantification du problème au Canada **76**
7.1 Quantité de mercure contenue dans les piles usées **76**
7.2 Problème du cadmium relié à l'élimination des piles rechargeables et accumulateurs industriels au nickel-cadmium **79**
7.3 Comparaison des situations canadienne et étrangère **79**
7.4 Mercure provenant des piles usées en comparaison avec les autres sources anthropogéniques **79**
7.5 Réactions canadiennes face au problème des piles usées **82**

Section 8
Recommandations **83**

Références **85**

Bibliographie **91**

Annexe
Liste des organismes **95**

Liste des figures

1	Formes et dimensions des piles	9
2	Densités d'énergie des piles	10
3	Plan en coupe d'une pile charbon-zinc (a) et d'une pile alcaline (b)	12
4	Plan en coupe de piles boutons - oxyde d'argent (Ag_2O (a)) et oxyde de mercure (HgO (b))	13
5	Utilisation du mercure en RFA de 1973 à 1982	18
6	Utilisation des piles au Canada, 1982-1986	26
7	Utilisation des piles au Canada en 1987 Eveready - Facts about Canadian primary battery	27
8	Types de piles vendues au Canada durant la période 1982-1986, marché canadien des piles	29
9	Formats de piles vendues au Canada durant la période 1982-1986, marché canadien des piles	30
10	Problèmes environnementaux associés à l'élimination des piles usées par les réseaux d'élimination des ordures ménagères	36
11	Mesures imposées par l'Ordonnance sur les substances dangereuses (OSD, OFPE)	50
12	Étiquetage des piles en Suisse	51
13	Financement par prélèvement d'une taxe préalable	52
14	Déroulement du procédé de recyclage des piles sèches usées de l'usine pilote prévue à Zurich	54
15	Récipient collecteur de piles usées de la firme Battrex (Pays-Bas)	56
16	Boîte de collecte des piles boutons en France, ANRED-CRF	60
17	Autocollant publicitaire de l'ANRED-CRF	61
18	Système de collecte de l'ANRED-CRF	62
19	Installation de traitement de cadmium de la Sab Nife	67

20	Procédé de la firme Voest-Alpine	**69**
21	Plan schématique de l'usine de récupération de Nomura Kosan au Japon	**72**
22	Programme de collecte NH-VT Solid Waste Project	**75**

Liste des tableaux

1	Utilisations du mercure	3
2	Principaux cas d'empoisonnement de méthylmercure	5
3	Voltage des piles électriques	11
4	Principaux composants des systèmes de piles et accumulateurs	14
5	Composition des piles primaires (en %)	15
6	Réactions globales des principaux types de piles primaires	15
7	Types d'accumulateurs	19
8	Réactions de charge et décharge de différents types d'accumulateurs	19
9	Proportion de nickel et de cadmium contenue dans différents types d'accumulateurs Ni-Cd	20
10	Marché mondial des piles et accumulateurs	21
11	Proportion de ventes à l'unité des piles alcalines	22
12	Utilisation des piles boutons en France en 1981	24
13	Utilisation des piles HgO en RFA en 1983	24
14	Utilisation canadienne des piles électriques	25
15	Formats des piles utilisées au Canada selon leur type	28
16	Tendances du marché des piles au Canada	28
17	Distribution des achats de piles au Canada	28
18	Pourcentage des ventes des différentes marques de commerce au Canada	31
19	Quantité d'ordures ménagères produite par année	33
20	Proportion des ordures ménagères éliminées par incinération	35

21	Tendances de consommation du cadmium dans la fabrication d'accumulateurs et de piles	37
22	Concentration de cadmium contenue dans certains types d'ordures	38
23	Taux de collecte des piles HgO dans certains pays	43
24	Installations de traitement des piles usées à l'étranger	43
25	Programmes de collecte des piles usées à l'étranger	45
26	Pourcentage de matériaux métalliques contenu dans les piles et accumulateurs domestiques	45
27	Taux de récupération des piles HgO en Suisse	48
28	Consommation des piles boutons en France	57
29	Taux de collecte des piles boutons à l'oxyde de mercure en France	58
30	Taux de récupération des piles HgO en RFA	64
31	Capacité de traitement des usines traitant le cadmium	66
32	Quantité de métaux récupérée quotidiennement à l'usine de Hokkaido au Japon	71
33	Répartition des ventes canadiennes de piles, 1982-1986	76
34	Nombre de piles vendues (alcalines et charbon-zinc) au Canada, 1982-1986	77
35	Formats de piles utilisées au Canada (alcalines et charbon-zinc)	77
36	Poids des piles	77
37	Mercure contenu dans les piles usées au Canada (charbon-zinc et alcalines seulement), 1982-1986	78
38	Mercure contenu dans les piles (HgO, Ag_2O, zinc-air)	78
39	Piles usées et mercure : situations canadienne (1982 et 1986) et étrangère (1982)	80
40	Émissions anthropogéniques de mercure au Canada	81

Sommaire et conclusions

Les activités humaines ont un effet considérable sur la quantité de mercure en circulation dans la biosphère dont les effets pernicieux sont bien connus. Depuis quelques décennies, on observe une réduction progressive, voire l'abandon de l'utilisation du mercure dans plusieurs domaines.

Durant cette même période, la quantité de mercure utilisée par l'industrie des piles électriques a connu une croissance rapide en raison de la popularité des appareils portatifs et de la mise en marché des piles alcalines. Notons que les piles électriques primaires couramment utilisées (piles alcalines, piles charbon-zinc, piles à l'oxyde de mercure, piles à l'oxyde d'argent et piles zinc-air) contiennent des quantités variables de mercure utilisé généralement comme inhibiteur dans l'anode de zinc, ou comme cathode dans le cas des piles à l'oxyde de mercure.

Les piles alcalines et les piles charbon-zinc détiennent la plus grande part du marché des piles en tonnage et en nombre de piles vendues. L'accroissement phénoménal des ventes de piles alcalines au détriment des piles traditionnelles (charbon-zinc) a un effet marqué sur l'augmentation des quantités de mercure utilisées, les premières contenant environ 100 fois plus de mercure.

Après un essor foudroyant, le marché des piles boutons tend à se stabiliser. Les piles à l'oxyde de mercure sont de moins en moins utilisées au profit des piles à l'oxyde d'argent, des piles au lithium et, dans le cas des prothèses auditives, des piles zinc-air.

Les piles usées représentent manifestement une part importante de métaux lourds dans les ordures ménagères. Si le mercure contenu dans les piles électriques ne fait pas l'objet d'un recyclage, il doit être perçu comme un rejet dans l'environnement. Ce rejet peut être plus ou moins rapide ou dommageable selon le type d'élimination des ordures ménagères utilisé. Compte tenu de la grande volatilité du mercure, l'incinération des ordures ménagères constitue un plus grand danger pour l'environnement si les gaz de combustion ne subissent qu'un traitement traditionnel (filtration).

Le souci grandissant de la population, en ce qui concerne la présence de mercure dans l'environnement, a conduit les autorités ou collectivités de plusieurs pays à mettre en oeuvre des programmes visant à récupérer les produits contenant du mercure en petite quantité, tels les piles primaires usées et les thermomètres. La collecte et le recyclage de ces produits potentiellement dangereux pour l'environnement sont devenus pratique courante dans plusieurs pays européens de même qu'au Japon.

Les premiers programmes de collecte et de récupération des piles usées de type bouton (piles au mercure) ont débuté vers 1975. Depuis quelques années, certains pays ont élargi leur programme de collecte pour y inclure les piles cylindriques et, dans certains cas, les piles rechargeables (accumulateurs au nickel-cadmium). Il en résulte donc une augmentation considérable des quantités de piles à collecter, et leur traitement ou élimination approprié est devenu plus complexe et onéreux. Les autorités gouvernementales et locales de même que les représentants de l'industrie des piles unissent, dans plusieurs cas, leurs efforts afin de faciliter la collecte et le traitement des piles usées. Au moment où la collecte et la gestion des piles boutons ont atteint un stade de développement bien établi, le traitement de tous les types de piles pose de nouveaux problèmes techniques et économiques.

L'expérience étrangère démontre clairement qu'il existe certains problèmes reliés au tri, au transport, à l'entreposage et au traitement final des piles usées (élimination contrôlée ou récupération des matériaux valorisables). La fermeture récente d'une installation de traitement du mercure en République fédérale d'Allemagne (RFA) a compromis temporairement le traitement des piles boutons à l'oxyde de mercure dans plusieurs pays européens possédant un programme de collecte de ce type de piles. En ce qui concerne les autres types de piles collectées, des installations pilotes de traitement font actuellement l'objet de recherche et de développement dans certains pays (Pays-Bas, Suisse et Japon).

Par suite des directives émises par la Communauté économique européenne (CEE) préconisant une réduction de 85 % du contenu de mercure dans les piles alcalines d'ici à 1990, plusieurs pays membres ont déjà adopté des mesures législatives incitant les importateurs et les fabricants de piles électriques à respecter ces restrictions. Certains pays encouragent fortement l'utilisation des piles zinc-air dans les appareils auditifs au détriment des piles au mercure. À elles seules, ces modifications réduiront considérablement les émissions de mercure dans l'environnement résultant de l'élimination des piles usées.

Le problème des piles rechargeables au nickel-cadmium d'utilisation domestique est relativement nouveau. Ces piles sont souvent collectées avec les autres types de piles et ensuite séparées pour subir un traitement approprié.

Les estimations effectuées au cours de la présente étude révèlent que la consommation canadienne de piles primaires représente annuellement environ 48 tonnes de mercure. Cette quantité de mercure «rejetée» dans l'environnement représente environ 35 % du total des sources anthropogéniques de mercure émises dans l'environnement canadien.

Du total, seulement sept tonnes de mercure sont imputables aux piles au mercure. Ainsi, un programme de collecte ne visant que les piles au mercure serait peu efficace pour réduire de façon notable les émissions de mercure provenant des piles usées. Notons également que l'utilisation des piles au mercure diminue régulièrement. En effet, il existe aujourd'hui d'autres types de piles pouvant se substituer avantageusement aux piles au mercure. Mentionnons, entre autres, que les fabricants d'équipements restreignent de plus en plus l'utilisation des piles au mercure dans les produits.

Un grand nombre d'associations environnementales américaines et canadiennes s'intéressent de plus en plus au problème de la présence de piles usées dans les ordures ménagères. On observe depuis peu la mise en oeuvre de programmes de collecte de piles usées dans certaines villes américaines et canadiennes.

Au Canada, un programme de collecte et de traitement des piles usées serait plus difficilement réalisable compte tenu, entre autres, de la distance entre les centres urbains et de son incidence marquée sur les coûts de transport.

À la lumière des informations recueillies, nous sommes d'avis qu'il est possible de réduire considérablement l'émission de mercure provenant des piles usées de façon plus efficace et économique que par la mise sur pied d'un programme de collecte et de traitement.

Ainsi, au Canada, il serait possible de réduire d'environ 80 % les émissions de mercure imputables aux piles usées, en mettant en application les recommandations suivantes :

- Encourager la substitution des piles à l'oxyde de mercure par des piles contenant pas ou peu de mercure. Aujourd'hui, cette substitution est techniquement et économiquement réalisable. Par exemple, les piles zinc-air peuvent avantageusement remplacer les piles au mercure dans les prothèses auditives.

- Adopter des mesures incitatives et/ou législatives similaires à celles de la CEE, qui prévoit réduire progressivement de 85 % la concentration de mercure dans les piles alcalines.

- Se rappeler que tous les incinérateurs municipaux devront dorénavant être pourvus d'équipements permettant d'effectuer un lavage des gaz de combustion. En effet, le mercure émis sous forme gazeuse lors de la combustion des ordures ménagères traverse aisément les systèmes de dépoussiérage généralement utilisés.

Remerciements

En reconnaissance de leur étroite collaboration, les auteurs, Madame Martine Ménard et Monsieur Christian Chevalier, tiennent à remercier tout particulièrement :

- Monsieur Gérald Girouard, Environnement Canada;
- Madame Miriam Bieri, Aktion Saubere Schweiz, Suisse;
- Madame Christina Jacob, Greater Vancouver Regional District;
- Monsieur Jean-Louis Chamard, Environnement Québec, Récupération et Recyclage.

Nous exprimons également notre reconnaissance à tous ceux et celles qui nous ont fourni de précieuses informations par correspondance.

Sans l'aide des personnes ou organismes étrangers qui ont accepté de nous recevoir lors de notre mission technique en Europe, il nous aurait été difficile de mener à bien cette étude. Une liste des principaux correspondants étrangers se retrouve à l'annexe du présent rapport.

Section 1

Introduction

La contamination par les métaux lourds préoccupe de plus en plus la population. De nombreux pays industrialisés se penchent, depuis plusieurs années, sur le problème de l'élimination des piles usées contenant du mercure. Le Canada, grand consommateur de piles, ne disposait pas d'information à ce sujet. Il nous est donc apparu essentiel d'évaluer la situation.

Les émissions de métaux lourds dans l'environnement provenant de sources diffuses, particulièrement de procédés industriels, font l'objet de recherches exhaustives depuis de nombreuses années au Canada. L'élaboration de mesures visant à réduire les émissions de substances toxiques dans l'environnement est l'une des priorités du gouvernement canadien.

Sous forme d'approche globale de la situation canadienne, le présent rapport fournit certaines orientations générales quant aux mesures à prendre pour minimiser les répercussions environnementales. Ces données permettront également aux autorités fédérales de décider s'il est nécessaire de prendre des mesures afin de réduire les émissions diffuses de mercure provenant des piles usées.

Le but premier de l'étude était d'évaluer la faisabilité d'un programme de collecte et de récupération des piles usées au Canada en tenant compte de la rentabilité. La présente étude offre donc un certain nombre de données sur les problèmes relatifs à un programme de collecte des piles usées d'après l'expérience étrangère. En effet, une partie des renseignements recueillis fait suite à une recherche effectuée tout d'abord par correspondance auprès de divers organismes ou départements gouvernementaux étrangers qui participent directement ou indirectement à un programme de récupération des piles usées. (Une liste des principaux départements gouvernementaux et organismes nous ayant fourni de précieuses informations se retrouve à l'annexe du présent rapport.) Des entrevues ont ensuite été planifiées dans trois pays européens (Pays-Bas, Suisse et France) en septembre 1987, lors d'une mission technique, afin de rencontrer les responsables des programmes de collecte et de visiter certaines installations de récupération des piles usées.

Comme un grand nombre d'études existent déjà sur la toxicité du mercure, le but premier de l'étude n'est pas d'élaborer sur ce fait, mais plutôt d'évaluer la part d'émissions de mercure dans l'environnement imputables à l'élimination des piles usées et de recommander des mesures en vue de réduire ces émissions.

Section 2

Mercure et environnement

2.1 Généralités sur le mercure

Connu depuis l'Antiquité, le mercure est un élément métallique de couleur blanc-argenté très lustré. Son symbole chimique Hg est l'abréviation de *hydrargyrum*, argent liquide en latin. Il est le seul métal liquide aux conditions normales. Sa densité est de 13,55 g/cm^3 avec un point de fusion de -39 °C et un point d'ébullition de 357 °C. Le mercure ne s'oxyde pas aux températures ordinaires. Toutefois, lorsqu'il est porté près de son point d'ébullition, il absorbe l'oxygène et se convertit en une poudre cristalline rouge, l'oxyde de mercure HgO, utilisée notamment comme pigment dans les peintures et électrode dans les piles.

Une très faible viscosité ainsi qu'une tension superficielle élevée confèrent au mercure d'étranges propriétés mécaniques; cet élément coule avec une grande facilité sans adhérer et il éclate en gouttelettes minuscules au moindre choc.

La principale source de mercure est le sulfure mercurique ou cinabre (HgS). Les minerais les plus concentrés contiennent environ 7 % de mercure, les minerais italiens ont en moyenne 1,1 % de mercure, alors que les minerais américains n'en contiennent qu'environ 0,5 %, soit 5 000 ppm. On rencontre aussi des concentrations importantes de mercure associées à d'autres sulfures métalliques. L'exploitation des minerais de plomb, de cuivre et en particulier de zinc engendre des émissions atmosphériques de mercure importantes. Mentionnons, par exemple, que la teneur en mercure des concentrés de zinc dans la région de Val-d'Or atteint 150 ppm[1]. En fait, la concentration de mercure associée à certains minerais de zinc est suffisamment élevée dans certains cas pour être exploitable lors de l'extraction du zinc.

Les nombreux composés mercuriels, organiques ou inorganiques actuellement utilisés sont tous volatils, et la plupart se décomposent en vapeur de mercure[1].

2.2 Utilisations du mercure

Le mercure est l'un des sept métaux connus depuis l'Antiquité. Le cinabre de couleur rouge est depuis longtemps utilisé comme colorant; des pigments contenant du mercure furent découverts dans un tombeau syrien datant de 2 000 ans avant Jésus-Christ[2]. Il est vraisemblable que l'on ait commencé l'extraction du mercure à la célèbre mine d'Almaden (alors nommée Sisapo), en Espagne, quatre siècles avant Jésus-Christ.

Les caractéristiques bactériostatiques du mercure étaient reconnues par les Romaines qui utilisaient le cinabre pour leur toilette faciale deux siècles avant Jésus-Christ.

L'inquiétude au sujet de ce métal et de ses composés est attribuable à leur utilisation croissante dans l'industrie et l'agriculture. Les tragédies environnementales des dernières décennies ont rendu le mercure fort impopulaire et ont incité les autorités à légiférer pour réduire les émissions dans l'environnement et provoquer la substitution des produits mercuriels. Il n'en reste pas moins que le mercure connaît toujours aujourd'hui de très nombreuses applications, dont les principales sont énumérées au tableau 1.

Dans le cas de l'industrie des piles, la quantité de mercure utilisée a connu, durant la même période, une très forte croissance. Notons qu'aux États-Unis, de tout le mercure

Tableau 1 Utilisations du mercure [1*]

Dentisterie
- amalgames dentaires

Agriculture
- chlorure mercurique
- chlorure mercureux
- acétate de phénylmercure
- lactate de phénylmercure
- oléate de phénylmercure

Pharmacologie
- merbromine (mercurochrome)
- chlorure mercurique ammoniacal
- oxyde de mercure jaune
- onguent bleu (mercure)
- nitromersol
- merthiolate (thimérosal)
- mercaptomérine (thiomérine)
- chlormérodrine

Matériel électrique
- redresseur de courant
- interrupteur
- flottes de contrôle
- tubes fluorescents
- lampes à vapeur de mercure

Matériel de laboratoire

Instruments de mesure
- thermomètre
- manomètre
- autres

Industrie de la soude caustique

Métallurgie de l'or

Peinture

Industrie des piles
- piles charbon-zinc
- piles alcalines
- piles à l'oxyde de mercure
- piles à l'oxyde d'argent
- piles zinc-air

* Liste non exhaustive

consommé, plus de 50 %, soit 1 000 tonnes par année, entre dans la fabrication des piles électriques[3,4]. Mis à part l'industrie des piles, la quantité de mercure utilisée dans la plupart des applications a diminué ou est demeurée relativement stable depuis 1970.

2.3 *Sources d'émissions de mercure dans l'environnement*

2.3.1 Sources naturelles

La majeure partie du mercure émise dans l'environnement provient de sources naturelles, dont :

- le dégazage de l'écorce terrestre;
- l'érosion;
- les émanations volcaniques;
- l'évaporation des océans.

Le dégazage de l'écorce terrestre est de loin la source de mercure la plus importante. Les estimations concernant la quantité de mercure émise naturellement dans la biosphère varient considérablement. Selon les différents auteurs, les chiffres globaux varient de 5 000 tonnes par année à 150 000 tonnes par année. Depuis le début de l'ère industrielle, les activités humaines ont modifié les mécanismes naturels d'émissions de mercure. Ces modifications sont le résultat des points ci-dessous :

- l'accélération des processus d'érosion;
- la déforestation et la désertification;
- les excavations et les transports de matériaux de surface lors des grands travaux de génie civil (routes, barrages, etc.).

De plus, de récentes études ont permis de constater que les précipitations acides accélèrent les phénomènes d'altération chimique des roches provoquant ainsi la libération prématurée de métaux dans l'environnement. Même si la teneur naturelle en mercure n'a jamais été nulle, les problèmes causés par son rejet dans l'environnement doivent être traités avec attention.

2.3.2 Sources anthropogéniques

Malgré l'importance des émissions naturelles, les activités humaines liées au développement industriel ont actuellement un effet considérable sur la quantité de mercure en circulation dans la biosphère. Elles ont eu pour conséquence une augmentation des concentrations des composés mercuriels dans l'environnement, comme le révèle l'étude des teneurs en mercure des glaces arctiques et antarctiques[5]. En effet, Weiss et collab. (1971) démontrent que les couches glacières du Groenland correspondant à 800 ans avant Jésus-Christ contiennent 60 ng/kg de mercure. Des échantillons datant de 1815 à 1946 montrent aussi une concentration moyenne de 60 ng/kg de mercure. Par contre, les échantillons correspondant à la période de 1952 à 1965 présentent des concentrations de mercure deux fois plus élevées, avec une moyenne de 125 ng/kg.

Cet accroissement spectaculaire est imputable aux activités humaines, telles que :

- l'altération de la surface terrestre;
- l'exploitation minière;
- l'utilisation de combustible fossile;
- le procédé industriel;
- l'utilisation et l'élimination de composés contenant du mercure.

2.4 *Toxicité du mercure*

Même si le mercure est reconnu, depuis des siècles, pour ses caractéristiques uniques (surtout, pour ses propriétés médicinales très efficaces), la toxicité de cet élément et de ses composés est aussi connue depuis fort longtemps. L'empoisonnement par le mercure métallique est connu depuis l'Antiquité. Il était très répandu, en particulier chez les mineurs de la mine

d'Almaden, en Espagne. Au XVI^{e} siècle, Paracelse décrivit les symptômes de l'empoisonnement des mineurs et des travailleurs des fonderies et édicta de nombreuses directives concernant l'usage thérapeutique des composés mercuriels[6].

Le mercure n'est pas un élément «vital», c.-à-d. qu'aucun organisme vivant ne l'utilise afin d'assurer ses fonctions vitales; bien au contraire, sa forte toxicité est aujourd'hui très bien connue et documentée.

Les plus célèbres tragédies environnementales sont survenues au Japon et en Iraq (tableau 2). Ces événements ont suscité une prise de conscience aiguë de la part des autorités gouvernementales des différents pays industrialisés.

Les nombreux composés du mercure présentent une toxicité très variable, les plus toxiques étant sous forme organique.

Sous forme organique, le mercure possède trois degrés d'oxydation correspondant à sa forme élémentaire métallique (Hg) et sous forme de sel mercureux (Hg_2^{+}) et mercurique (Hg^{++}). Le mercure étant très volatil, il peut engendrer de fortes concentrations de vapeur pouvant toucher le système nerveux central.

Une exposition aux sels mercuriques (Hg^{++}) peut causer des dommages aux reins sous la forme de syndromes néphrotiques. Le mercure métallique étant transformé par l'organisme en ions (Hg^{++}), des dommages aux reins peuvent aussi être constatés lors d'une intoxication par les vapeurs de mercure[6].

Les composés organiques sont chimiquement caractérisés par un lien covalent entre le mercure et un atome de carbone. Le mercure inorganique peut être transformé sous forme organique par un processus bactérien appelé méthylation.

Le taux de méthylation dans les sols ou les sédiments dépend[8] :

- de l'activité microbienne

  La méthylation du mercure est directement reliée à l'activité microbienne dans les sols et les sédiments aquatiques.

- de la concentration en oxygène

  Des conditions aérobies favorisent la transformation des sels mercuriques (Hg^{++}) en méthylmercure. Toutefois, la

Tableau 2 Principaux cas d'empoisonnement de méthylmercure[6,7]

Pays	Années	Personnes touchées	Morts	Source de mercure	Cause
Japon (Minamata)	1953-1959	~ 800	~ 111	rejets industriels	méthylmercure dans les poissons
Japon (Niigata)	1964	~ 500	~ 4	rejets industriels	méthylmercure dans les poissons
Iraq	1972	~ 6 530	~ 459	désinfectant à grains	ingestion de grains de céréale contaminés au méthylmercure

méthylation anaérobie du mercure métallique demeure possible.

- <u>du pH et de la température</u>

  Par conséquent, les facteurs touchant l'activité microbienne influencent également la méthylation du mercure. Un changement de pH peut aussi modifier la forme du composé mercuriel produit. Le diméthylmercure est préférablement formé à pH neutre ou alcalin et le (mono)méthylmercure, à bas pH.

- <u>des sulfures</u>

  Compte tenu de l'affinité du mercure pour le soufre, la présence de sulfure réduit le taux de méthylation, ce qui est probablement imputable à la très faible solubilité du sulfure de mercure (HgS).

Le diméthylmercure, plus volatil et peu soluble dans l'eau, rejoint éventuellement l'atmosphère par évaporation, tandis que le méthylmercure est contrôlé par l'activité microbienne et passe par la chaîne alimentaire[9]. Des facteurs de bioaccumulation de l'ordre de 3 000 à 27 000 ont été rapportés[8]. C'est donc dire que la teneur en mercure dans la chair des poissons peut atteindre des concentrations de 10 000 à 25 000 fois supérieures aux concentrations de mercure présentes dans leur milieu aquatique environnant (eau et plancton). Bien que la consommation de poissons contaminés soit habituellement la cause de l'intoxication chez l'homme, la consommation de mammifères et d'oiseaux piscivores pose aussi un danger réel particulièrement pour les populations autochtones. Le cheminement pathologique chez l'homme peut, par exemple, être simplifié de la façon suivante : le mercure ingéré sous forme organique, lors de la consommation de poissons ou d'autres aliments contaminés, est transformé en chlorure de méthylmercure sous l'action des acides gastriques. Ce composé organomercurique passe alors dans le sang pour atteindre le système nerveux central et le cerveau.

Les symptômes chimiques de l'empoisonnement par le méthylmercure (hydrogyrisme) sont:

- la perte de la vue et de l'ouïe;
- la déchéance intellectuelle;
- l'incoordination progressive des mouvements;
- les engourdissements et les tremblements;
- le désordre congénital[9].

Section 3

Piles et accumulateurs

La première pile électrique a été inventée en 1800 par un italien, Alessandro Volta. De forme cylindrique, elle était composée d'une série de disques de cuivre et de zinc, isolés les uns des autres par des rondelles de tissu ou de carton trempées dans de l'eau acidulée. Un fil métallique reliait alors les premier et dernier disques de zinc parcourus par un courant électrique. L'utilisation croissante du télégraphe, après 1830, entraîna le développement des piles électrochimiques. En 1870, Georges Leclanché, un français, inventa la pile sèche classique au charbon-zinc qui n'a été fabriquée industriellement qu'à partir des années 1900[10]. Cette source d'énergie a ouvert des possibilités insoupçonnées en rendant les utilisateurs indépendants du réseau électrique.

La lampe de poche fut introduite au tournant du siècle, environ 20 ans après l'invention de la lampe incandescente (Edison). La production annuelle de piles, aux États-Unis seulement, atteignit alors deux millions d'unités. Le marché des piles commerciales a connu depuis deux périodes de croissance accélérée, dans les années 1920, avec l'arrivée de la radio domestique, et, dans les dernières décennies, à la suite de l'envahissement des équipements microélectriques portatifs.

Au cours des décennies passées, la croissance de l'industrie des piles a été phénoménale. Elle représente, de nos jours, un chiffre d'affaires mondial de plusieurs milliards de dollars. Aux États-Unis, le marché des piles est 20 fois plus important que celui des dentifrices ou des films[11]. Plus de 95 % de l'activité manufacturière des piles aux États-Unis est axée sur la fabrication de quatre types d'accumulateurs et de neuf types de piles primaires[12].

3.1 Généralités

Par définition, une «pile» est un système ou un dispositif convertissant l'énergie chimique en énergie électrique. On entend généralement par «batterie» un arrangement de piles réunies en série ou en parallèle fournissant le voltage désiré. Dans la pratique, les utilisateurs ne font pas de différence rigoureuse entre les termes «piles» et «batteries», et, par conséquent, les termes sont souvent utilisés sans distinction.

Toutes les piles actuellement disponibles sur le marché fonctionnent selon le même principe, soit la transformation directe en énergie électrique de l'énergie développée lors d'une réaction chimique d'oxydo-réduction. Cette dernière se produit à partir de deux électrodes immergées dans un électrolyte liquide ou solide[13]. Lors du fonctionnement, la cathode (électrode positive) est réduite par l'absorption d'électrons libérés par l'oxydation de l'anode (électrode négative). Dans leur déplacement, on force les électrons à utiliser un circuit extérieur (filament d'une lampe de poche, par exemple) où ils libèrent de l'énergie[10].

Notons que la réaction des piles primaires ne procède que dans un sens : elle est irréversible et s'épuise quand toute l'énergie chimique du système a été consommée. Dans le cas des accumulateurs, la réaction est réversible, et ceux-ci peuvent être rechargés par l'apport d'une source énergétique extérieure.

Les piles sont de formes et de tailles diverses : piles cylindriques, piles rectangulaires et piles boutons. Ces dernières, aussi de forme cylindrique, présentent une hauteur inférieure à leur diamètre. Les spécifications de la Commission internationale de l'énergie[14]

permettent un classement général par groupe de systèmes de piles. Les piles alcalines au manganèse, au charbon-zinc et les piles rechargeables au nickel-cadmium sont principalement sous forme cylindrique. La variété la plus répandue est le format «AA». La pile de 9 V, qui est une batterie constituée d'un assemblage de six piles de 1,5 V reliées en série, est de forme rectangulaire, et les contacts terminaux sont tous deux à la même extrémité[15].

3.2 Particularités énergétiques des piles primaires

L'énergie totale disponible des piles est une mesure de la quantité d'électricité pouvant être libérée (en Wh). Elle est, pour un même système, directement liée à la dimension des piles. À titre d'exemple, la plus petite pile bouton possède une énergie de 100 mWh. La pile cylindrique de dimension «D» possède une énergie d'environ 2-15 Wh. Les piles rechargeables utilisées dans les outils possèdent une énergie de 20-100 Wh[16].

L'énergie tirée des piles coûte beaucoup plus cher que l'électricité du réseau domestique. Elle fournit environ 50 fois moins d'énergie qu'il en a fallu pour les fabriquer. Le kilowatt-heure d'une pile charbon-zinc ou alcaline est environ mille fois plus coûteux que le kilowatt-heure utilisé d'une prise murale. Celui d'une pile bouton est d'environ 100 000 fois plus coûteux[10].

Le voltage d'une pile représente la différence de potentiel entre la cathode et l'anode. Il dépasse rarement 2 V. Les formats AAA, AA, C et D produisent généralement 1,5 V. Les fabricants conservent presque toujours la même formulation chimique pour tous leurs formats; les piles les plus grosses étant les plus puissantes. Ainsi, les piles de format C fournissent deux fois plus d'énergie que les piles de format AA, et les piles de format D en fournissent deux fois plus que les piles de format C. Notons que le voltage des piles au lithium est deux fois plus élevé que celui des autres systèmes[17].

Toutes les piles primaires commencent à se décharger lentement aussitôt leur fabrication achevée. La vie à vide des piles est le temps pendant lequel elles conservent une réserve minimale d'énergie lorsqu'elles ne sont pas utilisées. On nomme aussi cette durée, «durée de vie» («shelf life»). Les piles charbon-zinc perdent passablement de puissance si elles croupissent trop longtemps sur les tablettes du marchand[15]. Par contre, les piles alcalines présentent à cet égard d'excellentes caractéristiques. Elles ne perdent qu'entre 2 % et 5 % de leur capacité par année lorsqu'elles ne sont pas utilisées[15].

3.3 Différents types de piles et leur contenu en mercure

Toutes les piles fonctionnent selon des principes similaires, mais chaque système possède sa composition unique de matériaux qui détermine sa capacité, son rendement et sa durée de vie. On distingue sept types de piles primaires couramment utilisées :

- les piles charbon-zinc;
- les piles charbon-zinc à haut rendement;
- les piles alcalines au manganèse;
- les piles à l'oxyde de mercure;
- les piles à l'oxyde d'argent;
- les piles zinc-air;
- les piles au lithium.

La cathode, qui fournit l'oxydant à l'anode, est, pour la plupart de ces piles, principalement composée d'oxyde métallique. L'anode est, sans exception, composée de métal «corrodable» à certains degrés dans l'électrolyte.

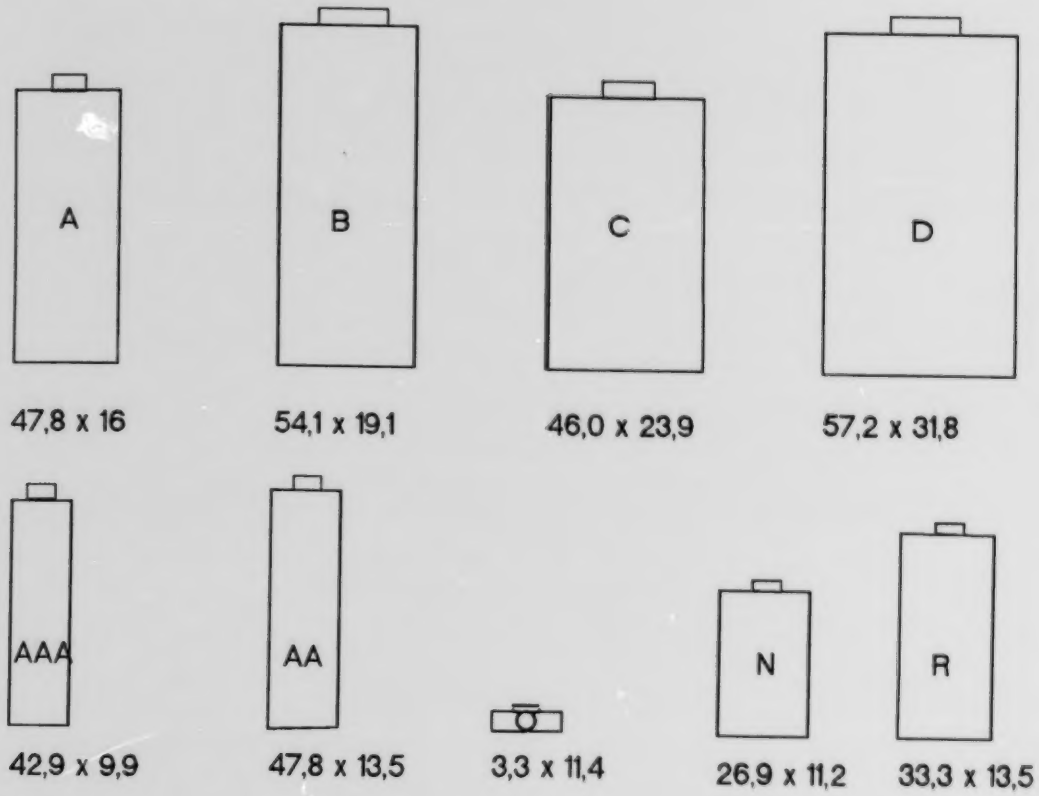


Figure 1 **Formes et dimensions des piles**[16]

Tous les types de piles primaires, à l'exception des piles au lithium, contiennent du mercure, principalement utilisé comme composant inhibiteur passif en quantité plus ou moins élevée selon le système. Des composés sont ajoutés aux électrodes et/ou à l'électrolyte de chaque type de piles, pour accroître son rendement en prévenant ou en contrôlant des réactions indésirables ou en favorisant des réactions désirables à l'intérieur de la pile. Le mercure est un composant actif (cathode) qui représente le tiers du poids total des piles au mercure.

L'électrolyte participe aux réactions chimiques qui se produisent dans les piles. Notons que dans les piles sèches l'électrolyte est immobilisé, sous forme de pâte ou de gel, ou imbibé dans un matériel séparateur[16]. Les autres composés des piles sont inactifs et en métal (plomb, acier, etc.) ou en matériaux combustibles (plastique, papier et carton)[22].

Les figures 3 et 4 illustrent les plans en coupe d'une pile de format cylindrique et d'une pile de format bouton. Notons que la chemise métallique des piles boutons agit comme terminal et qu'elle est fréquemment constituée d'acier inoxydable plaqué de nickel.

La possibilité de substitution entre les différents types de piles est limitée à certaines applications.

3.3.1 Piles charbon-zinc

Les plus connues des piles primaires, les piles charbon-zinc, appelées aussi piles Leclanché, piles salines ou ordinaires (bioxyde de manganèse, MnO_2), sont les moins dispendieuses et les moins puissantes. Elles occupent la plus grande part du marché mondial des piles[21]. Recommandées pour les charges légères et intermittentes, elles sont le plus souvent utilisées pour les appareils à faible débit, telles les lampes de poche, les

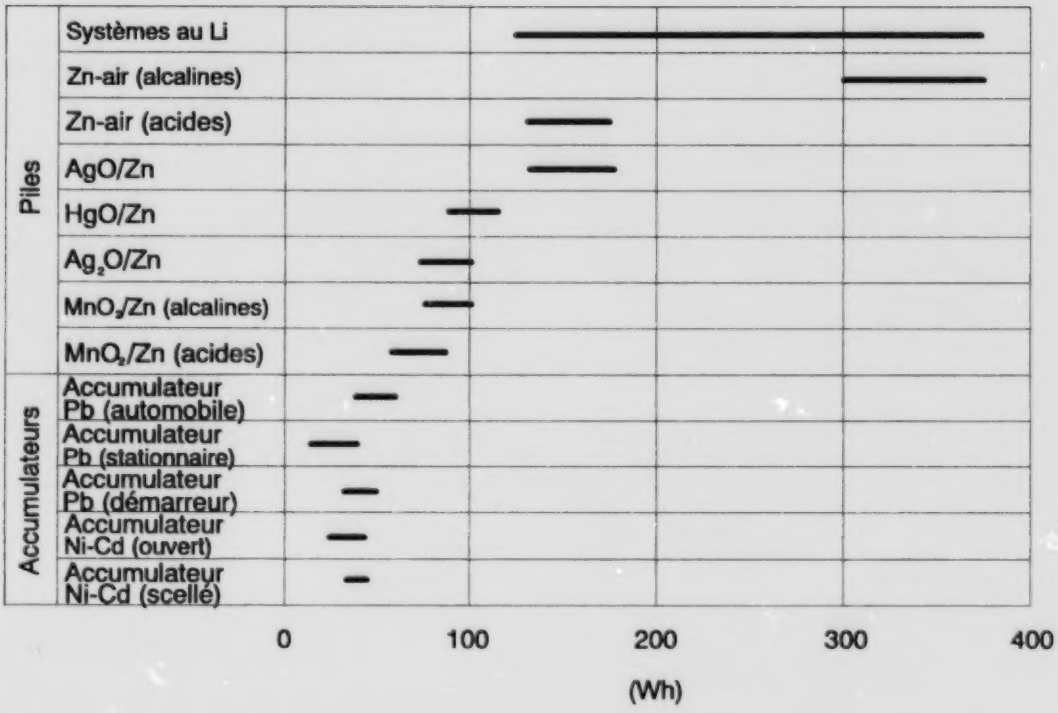


Figure 2 Densités d'énergie des piles[18]

radios, etc.[10]. Elles ne conviennent pas aux demandes violentes et soutenues. Les piles charbon-zinc ont tendance à couler lorsqu'elles sont laissées dans les appareils hôtes, une fois déchargées[15].

On retrouve dans cette catégorie les piles charbon-zinc au chlorure de zinc, dites piles à «haut rendement» qui se vendent plus cher et supportent mieux les écarts de température. Ces piles durent environ 40 % plus longtemps que les piles charbon-zinc ordinaires, mais demeurent peu adaptées aux applications qui nécessitent de fortes puissances électriques[15]. Elles se différencient des piles ordinaires par leur composition et présentent, par conséquent, des particularités de décharges améliorées, de même qu'une plus grande résistance au coulage[21].

L'anode des piles charbon-zinc est constituée de zinc, et la cathode contient du bioxyde de manganèse. L'électrolyte est constitué d'une solution aqueuse de chlorure de zinc pour les piles à «haut rendement» et de chlorure d'ammonium pour les piles ordinaires. Lors de la décharge, l'anode de zinc s'oxyde, et le bioxyde de manganèse est réduit[24]. Plusieurs inhibiteurs, tels le chlorure mercurique, peuvent être utilisés en petite quantité dans

Tableau 3 Voltage des piles électriques[17,19,20]

Type de pile	Voltage (V)
Charbon-zinc	1,5
Alcaline	1,5
Oxyde de mercure	1,35
Oxyde d'argent	1,5
Zinc-air	1,45
Lithium	1,5-3,9
Nickel-cadmium	1,2

l'électrolyte. Les piles charbon-zinc contiennent en moyenne 0,01 % en poids total de mercure et sont les seules piles primaires qui contiennent du cadmium[25]. En effet, une faible quantité de cadmium est ajoutée au zinc dans la fabrication de l'anode «zinc can», représentant environ 0,01 % du poids total de la pile[25]. Compte tenu des infimes quantités de mercure et de cadmium contenues, les piles charbon-zinc ne présentent pas de danger pour l'environnement.

3.3.2 Piles alcalines

Depuis leur entrée sur le marché vers la fin des années 1950, les piles alcalines au bioxyde de manganèse, dites piles de longue durée, ont acquis une part du marché de plus en plus importante, particulièrement depuis la fin des années 1970. Le développement des piles alcalines résulte de la substitution du composant actif des piles à l'oxyde de mercure (oxyde de mercure), par le bioxyde de manganèse[21].

Les piles alcalines au manganèse sont des piles de haut rendement, et leur coût est beaucoup plus élevé que celui des piles charbon-zinc. Elles possèdent une densité d'énergie supérieure aux piles charbon-zinc, mais inférieure aux piles à l'oxyde de mercure[26]. Elles perdent leur capacité au rythme d'environ 2 % seulement après 12 mois, ce qui est imperceptible pour l'utilisateur[23]. Une seule pile alcaline peut remplacer 3,5 piles ordinaires ou 2,5 piles à haut rendement[15].

Ces piles à haut rendement sont utilisées pour un prélèvement de courant élevé ou pour des appareils utilisant du courant sur une longue durée. Les piles alcalines fonctionnent selon un tout autre principe que les piles charbon-zinc et possèdent de bien meilleures qualités électriques[14]. Elles résistent aussi aux températures extrêmes et offrent plus de sécurité quant au coulage.

Les piles alcalines connaissent un grand succès depuis la dernière décennie, avec l'arrivée sur le marché d'appareils gourmands en énergie, tels les magnétophones, les baladeurs, les lampes de caméra, les appareils photos, les jouets motorisés, etc.[10].

La réaction chimique des piles alcalines au manganèse n'implique pas d'acide et se produit dans un milieu alcalin, d'où leur nom[15]. Constituée de poudre de zinc, l'anode des piles alcalines possède une surface environ 100 fois plus efficace que celle des piles charbon-zinc et contribue au rendement du système[21]. En raison de la forme particulaire de l'anode, les piles alcalines nécessitent une quantité plus importante de mercure que les piles charbon-zinc[27] et contiennent en moyenne 1 % de mercure en poids total, la matière première étant le manganèse. Des mesures concernant l'abaissement du mercure contenu dans les

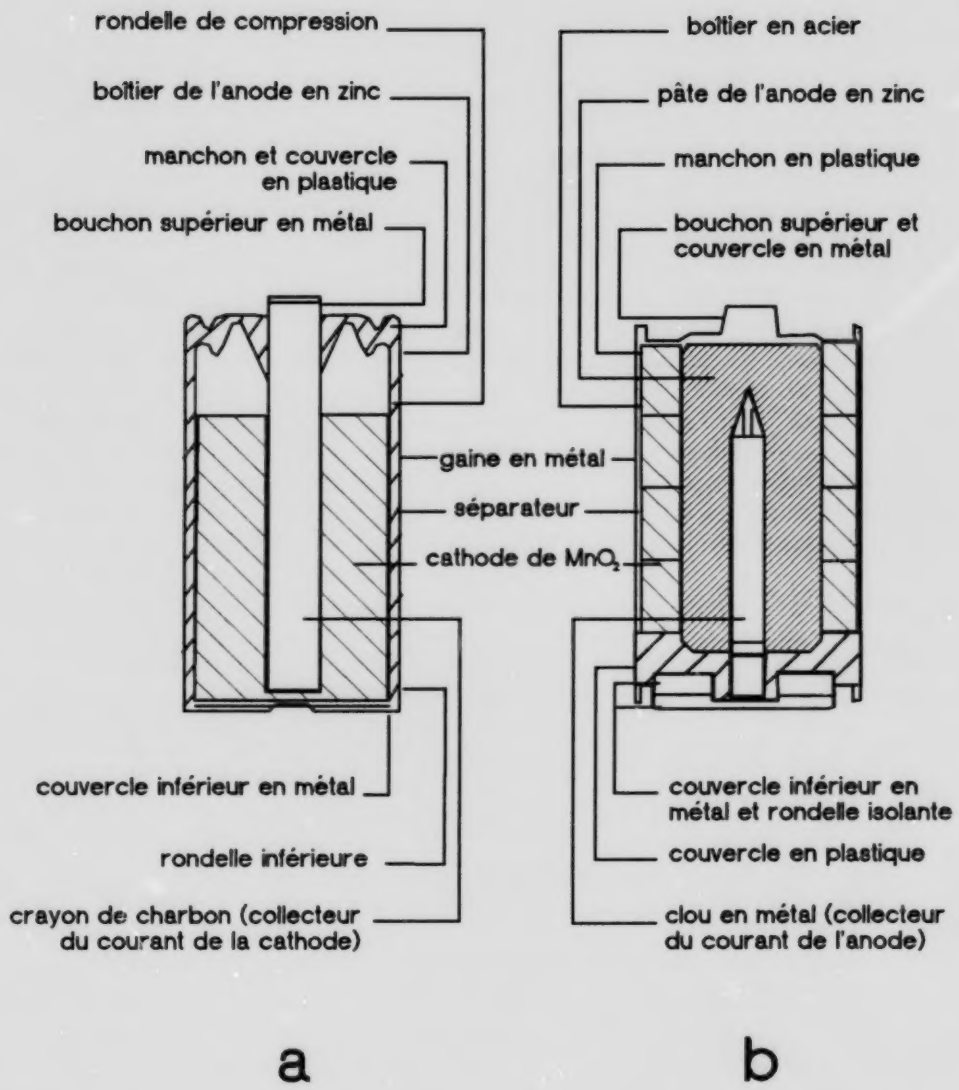
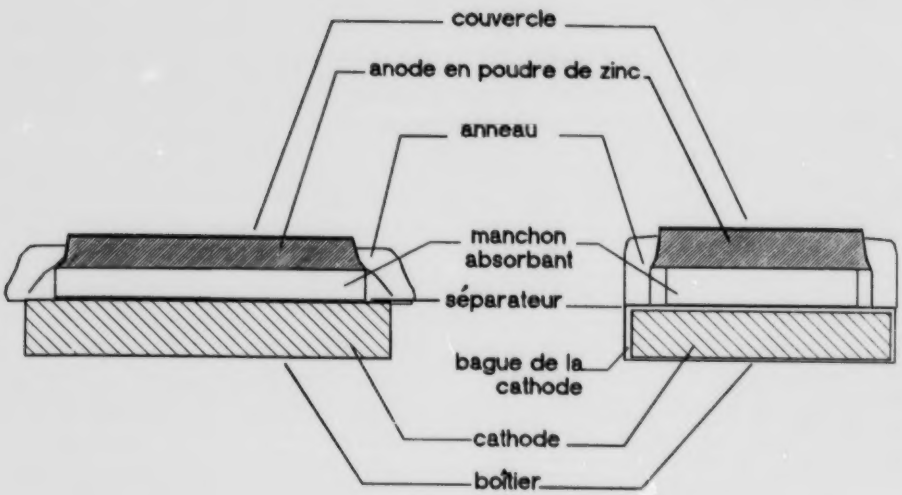
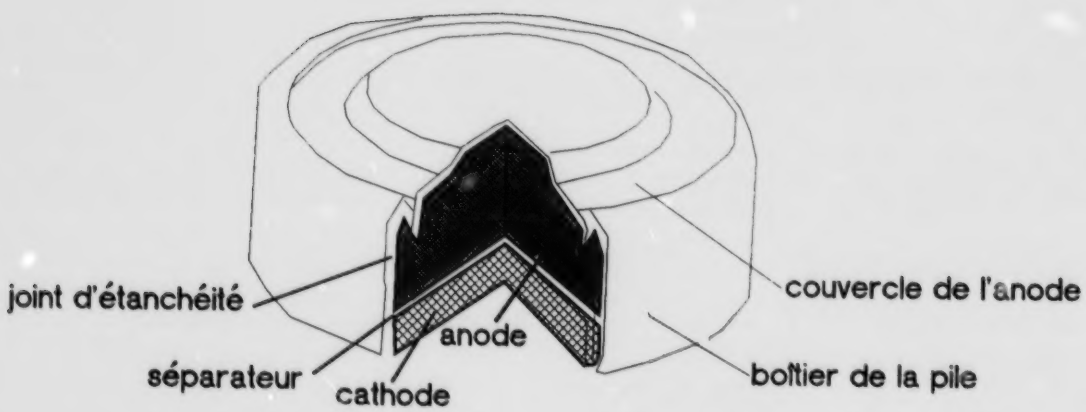


Figure 3 **Plan en coupe d'une pile charbon-zinc (a) et d'une pile alcaline (b)**[16]



a



b

Figure 4 **Plan en coupe de piles boutons - oxyde d'argent (Ag_2O (a)) et oxyde de mercure (HgO (b))**[16]

Tableau 4 Principaux composants des systèmes de piles et accumulateurs[3,21]

Système	Cathode	Anode	Électrolyte	Contenu Hg (% en poids)
Piles charbon-zinc	Bioxyde de manganèse	Zinc	Chlorure d'ammonium	0,01
Piles charbon-zinc «haut rendement»	Bioxyde de manganèse	Zinc	Chlorure de zinc	0,01
Piles alcalines-manganèse	Bioxyde de manganèse	Poudre de zinc	Hydroxyde de potassium	0,5-1
Piles à l'oxyde de mercure	Oxyde de mercure	Poudre de zinc	Hydroxyde de potassium ou hydroxyde de sodium	~ 33
Piles à l'oxyde d'argent	Oxyde d'argent	Poudre de zinc	Hydroxyde de potassium ou hydroxyde de sodium	1
Piles zinc-air	Oxygène provenant de l'air	Poudre de zinc	Hydroxyde de potassium	1
Piles au lithium (Li-MnO_2)	Bioxyde de manganèse	Lithium	-	-
Accumulateur Ni-Cd	Oxyde de nickel	Cadmium	Hydroxyde de potassium ou hydroxyde de sodium	-

piles alcalines, de 1 % à 0,15 % d'ici à 1990, sont en cours dans plusieurs pays d'Europe de l'Ouest et au Japon[14]. La teneur en mercure des piles alcalines varie actuellement de 0,5 % à 1 % selon les pays. En Suisse, par exemple, les piles alcalines contenaient, en 1987, 0,8 % de mercure[28].

3.3.3 Piles à l'oxyde de mercure

Les piles au mercure sont des éléments galvaniques contenant une électrode d'oxyde de mercure. À la demande de l'armée américaine, les premières piles à système aqueux à base d'oxyde de mercure et de zinc furent disponibles aux États-Unis en 1940, lors de la Seconde Guerre mondiale, pour remplacer les piles de type Leclanché[21]. Les piles, qui portaient alors le nom de piles Ruben-Mallory ou piles RM[16], révolutionnèrent l'industrie des piles. La Commission électrochimique internationale suggère le terme «piles à l'oxyde de mercure-zinc» (HgO/Zn). Les piles à l'oxyde de mercure ont la particularité de posséder une haute énergie pour un volume et un poids donnés, une longue durée de vie et un voltage relativement constant lors de la décharge.

La plupart des piles à l'oxyde de mercure se retrouvent sous forme de piles boutons. Les piles au mercure comportent techniquement certains avantages, tels une capacité de

Tableau 5 Composition des piles primaires (en %)[23*]

Type de pile	Zn	MnO_2	Hg	Ag	Charbon	Papier/ plastique	Acier	Cd	Li
Charbon-zinc	17	29	0,01	-	7	10	16	0,08	-
Alcaline-Mn	14	22	0,5-1	-	2	5	37	-	-
Oxyde de mercure	11	-	33	-	-	7	22	-	-
Oxyde d'argent	10	-	1	27	-	7	22	-	-
Zinc-air	30	-	1	1	?	7	60	-	-
Lithium	-	-	-	-	-	7	60	-	10-30

* Les pourcentages n'atteignent pas 100 compte tenu du reste des composants.

Tableau 6 Réactions globales des principaux types de piles primaires[16,22]

Type de pile	Réaction de charge	Réaction de décharge
Charbon-zinc	$2MnO_2 + 2NH_4Cl + Zn$	$2MnOOH + Zn(NH_3)_2 Cl_2$
Alcaline-Mn	$Zn + 2H_2O + 2MnO_2$	$Zn(OH)_2 + 2MnOOH$
Oxyde de mercure	$Zn + H_2O + HgO$	$Zn(OH)_2 + Hg$
Oxyde d'argent	$Zn + H_2O + Ag_2O$	$Zn(OH)_2 + 2Ag$
Zinc-air	$2Zn + 2H_2O + O_2$	$2Zn(OH)_2$

décharge élevée pendant un temps assez long, une bonne stabilité lors de la décharge et la possibilité de débiter instantanément des courants de très haute intensité. Elles sont utilisées comme source d'alimentation dans les montres électriques, les prothèses auditives, les caméras, les instruments électriques, les appareils acoustiques, les calculateurs ultra-plats, les transmetteurs, les jouets électroniques, etc. Les piles au mercure cylindriques de grandes dimensions sont désignées comme telles et utilisées dans les appareils photographiques et les posemètres.

Le système des piles à l'oxyde de mercure est demeuré presque inchangé depuis son introduction sur le marché. Il est basé sur une anode constituée de poudre de zinc amalgamé et une cathode composée de poudre d'oxyde de mercure consolidée contre la surface interne du boîtier afin d'assurer un bon contact électronique. Lors de la décharge, l'oxyde de mercure est converti en mercure métallique sous forme de fines gouttelettes. Les piles à l'oxyde de mercure les plus couramment utilisées pour les montres et les prothèses auditives pèsent en moyenne 2,5 g et contiennent environ 30 % de mercure en poids total sous la forme inorganique[23,29]. Une étude analytique japonaise a révélé qu'une partie du mercure contenu dans les piles se retrouvait sous la forme de méthylmercure[30].

3.3.4 Piles à l'oxyde d'argent

Les piles à l'oxyde d'argent-zinc (Ag_2O/Zn), communément appelées piles à l'oxyde d'argent ou piles à l'argent, sont semblables aux piles à l'oxyde de mercure. Elles

différent par leur cathode constituée d'oxyde d'argent. Elles furent mises en marché aux États-Unis en 1961, peu après l'apparition des montres électriques.

Les piles Ag_2O offrent presque les mêmes avantages que les piles au mercure, mais sont malheureusement beaucoup plus coûteuses. Sous forme bouton, la plupart des piles à l'oxyde d'argent sont utilisées pour les mêmes applications que les piles au mercure auxquelles elles peuvent techniquement se substituer[10].

La cathode des piles à l'oxyde d'argent est constituée de Ag_2O/graphite, et l'anode est constituée de zinc. Les piles à l'oxyde d'argent contiennent du mercure dans une proportion de 1 % en poids total. On y retrouve généralement un électrolyte à base d'hydroxyde de potassium, pour les piles à l'oxyde d'argent utilisées dans les appareils auditifs, et un électrolyte à base d'hydroxyde de sodium, pour celles utilisées dans les montres[20].

3.3.5 Piles zinc-air

Introduites depuis quelques années, les piles zinc-air de forme bouton sont de plus en plus utilisées comme source d'alimentation des prothèses auditives et remplacent progressivement les piles à l'oxyde de mercure. En plus d'être peu polluantes, elles possèdent une plus grande capacité que les piles au mercure[10].

Le système zinc-air diffère de celui des autres types de piles par sa cathode constituée de charbon actif où l'oxygène devient électrochimiquement actif. L'air est introduit dans le boîtier par des orifices obstrués, avant son utilisation, à l'aide d'un cachet métallique amovible. Une fois le cachet retiré, la pile se décharge relativement vite (environ trois mois), même si elle n'est pas branchée à un appareil. Ce n'est pas un désavantage lorsque ce type de piles est utilisé comme source d'alimentation de prothèses auditives[14]. En effet, quel que soit le type de piles boutons utilisé pour cette application, la pile doit être remplacée fréquemment. Les piles zinc-air contiennent environ 1 % de mercure utilisé comme inhibiteur.

3.3.6 Piles au lithium

Les premiers prototypes au lithium sont apparus vers 1960[20]. À cette époque, les piles au lithium comportaient certains dangers d'explosion, le lithium étant très réactif avec l'eau ou l'agent oxydant. La technologie a réduit ce risque par l'utilisation de conteneurs spéciaux et l'utilisation d'électrolytes non aqueux. Les piles au lithium ne contiennent ni mercure ni cadmium et sont reconnues pour leur longue durée de vie (environ cinq ans)[17]. Leur voltage est presque le double de celui des autres types de piles. Ces piles sont largement utilisées pour certaines applications militaires, notamment, dans les équipements de communication (transmetteurs radioportatifs, émetteurs-récepteurs, radiobalises acoustiques)[16].

En croissance de popularité depuis cinq à sept ans[10], la majorité des piles au lithium utilisées pour des applications domestiques et médicales sont des piles boutons employées comme source d'alimentation dans les montres, les calculatrices, les jeux de poche, etc. Ces piles sont aussi largement utilisées pour alimenter les circuits imprimés des ordinateurs[15].

Le poids des piles au lithium est inférieur à celui des autres systèmes de piles. Le lithium possède un des plus hauts potentiels électrochimiques comme matériau d'anode, et sa légèreté est un atout (environ 30 fois moins que le plomb[20]). Les systèmes utilisent le lithium dans une variété de configurations, selon les applications. Les piles au lithium les plus populaires sont celles au bioxyde de manganèse ($LiMnO_2$) fonctionnant à 3 V[17]. Dans ce système, l'anode est constituée de lithium métallique, et la cathode, de bioxyde

de manganèse. Ce type de piles ne contient pas de mercure.

3.4 Le mercure dans les piles : fonction et concentration

De tous les matériaux lourds utilisés dans la fabrication des piles et accumulateurs, le plomb, le cadmium et le mercure font l'objet d'une attention particulière. La quantité de mercure consommée pour la fabrication des piles primaires a augmenté depuis les dernières années et constitue maintenant l'utilisation principale du mercure. La majeure partie du mercure utilisé pour les piles électriques entre dans la fabrication des piles alcalines[6]. Notons que, au Canada, la majorité des piles électriques utilisées sont fabriquées à l'étranger, particulièrement aux États-Unis et au Japon. Mentionnons qu'environ la moitié du mercure consommé chaque année aux États-Unis est utilisée par l'industrie des piles électriques[2].

Utilisé comme inhibiteur, le mercure est ajouté à l'anode de zinc (dans la majorité des piles primaires) pour empêcher les mécanismes de corrosion de perturber la réaction chimique par la génération de gaz[10]. La présence de mercure dans les piles inhibe aussi l'autodécharge de la pile qui réduirait considérablement la durée de vie à l'étalage du produit[25]. Toutes les piles primaires, à l'exception de celles au lithium, contiennent du mercure utilisé généralement comme composant passif. Le mercure est aussi utilisé comme cathode dans les piles à l'oxyde de mercure. Les propriétés du mercure dans ces cas sont uniques. La consommation des piles au mercure diminue et, selon plusieurs sources, elle sera presque nulle d'ici à 10 ans[31].

La teneur en mercure dans les piles à l'oxyde de mercure est d'environ 30 % du poids total. Chaque pile contient en moyenne, selon sa taille, entre 0,3 g et 1,5 g d'oxyde de mercure[29].

Un fait encore peu connu est que les piles alcalines contiennent des quantités importantes de mercure sous forme de poudre de zinc amalgamé et sont responsables dans plusieurs pays d'une source de mercure supérieure à celle reliée aux piles boutons à l'oxyde de mercure. Les piles alcalines contiennent entre 0,5 % et 1 % de mercure selon les normes imposées par les pays. Des recherches aux États-Unis et au Japon ont révélé qu'une réduction importante de mercure est possible, mais qu'elle doit faire l'objet de développement et d'investissement. Il semble que l'addition d'indium permettrait de réduire de moitié les quantités de mercure nécessaires. Des améliorations techniques sont donc envisagées[10]. Mentionnons également que l'addition d'une quantité trace d'indium au zinc a démontré une réduction de 50 % de la quantité requise de mercure[21].

Les piles charbon-zinc contiennent environ 0,01 % de mercure en poids total[33] et, par conséquent, ne représentent pas une menace pour l'environnement.

3.5 Différents types d'accumulateurs

Les piles secondaires ou accumulateurs sont, contrairement aux piles primaires, réversibles sur plusieurs centaines de cycles, à la suite d'un apport d'énergie extérieur[16]. Comme ils peuvent être chargés et rechargés, ils sont utilisés pour emmagasiner de l'énergie électrique fournie d'une source extérieure et constituent une catégorie distincte des autres types de piles. On trouve plusieurs types d'accumulateurs sur le marché, mais les plus répandus sont les accumulateurs traditionnels au plomb (plomb-bioxyde de plomb avec électrolyte d'acide sulfurique) et les accumulateurs au nickel-cadmium, dont l'utilisation croît rapidement.

Il est important de souligner qu'un nouveau type d'accumulateur utilisant le lithium a fait récemment son apparition sur le marché[34]. La firme Moli Energy Limited de Burnaby, en Colombie-Britannique, en produit annuellement 4 000 à son usine pilote. Cette firme canadienne est à l'avant-garde au niveau mondial dans la technologie des piles

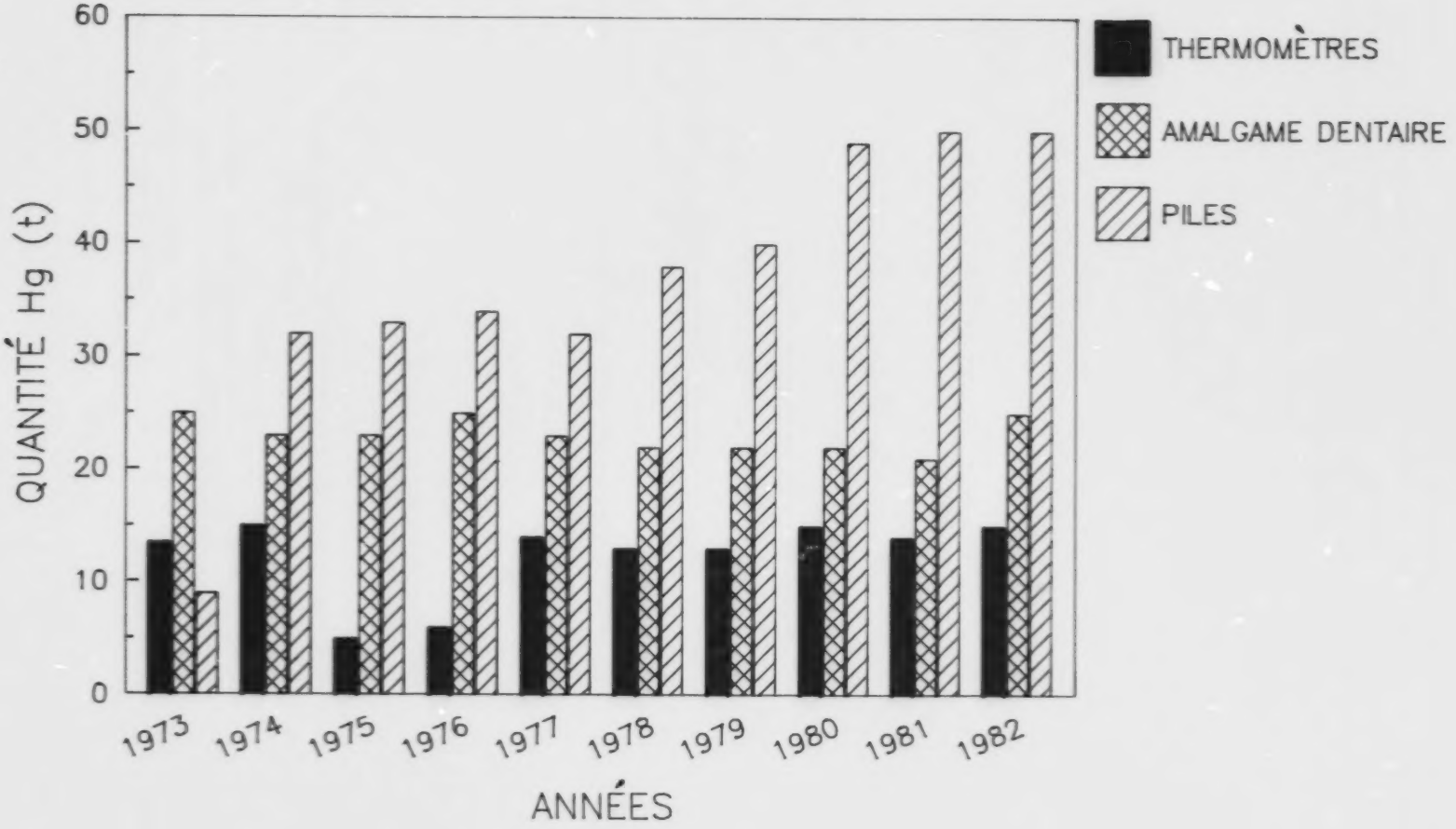


Figure 5 **Utilisation du mercure en RFA de 1973 à 1982**[32]

Tableau 7 Types d'accumulateurs

Plomb-acide	Zinc-air
Alcalin-manganèse	Sodium-sulfure
Argent-zinc	Nickel-hydrogène
Argent-cadmium	Argent-hydrogène
Nickel-zinc	Lithium

Tableau 8 Réactions de charge et décharge de différents types d'accumulateurs[18,22]

Type d'accumulateur	Réaction de charge	Réaction de décharge
Plomb	$Pb + 2H_2SO_4 + PbO_2$	$PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4$
Ni-Cd	$2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$	$2NiO(OH) + Cd + 2H_2O$

rechargeables au lithium. Elle prévoit un développement important de ses installations d'ici à 1990[35].

3.5.1 Accumulateurs au nickel-cadmium

La fabrication d'accumulateurs au nickel-cadmium a débuté vers la fin des années 1950, trouvant des applications industrielles diverses, notamment dans le secteur des communications.

On reconnaît deux types d'accumulateurs au nickel-cadmium, étanches (ou scellés) et ouverts. À l'exception de l'électrolyte, ces accumulateurs ne présentent pas de différences fondamentales. Supérieurs aux accumulateurs au plomb, ceux au nickel-cadmium, de grandes dimensions, de type ouvert, sont de forme rectangulaire comparable aux accumulateurs au plomb. Ils sont habituellement utilisés pour des applications industrielles et possèdent une durée de vie de 10 à 30 ans environ, selon les tâches (véhicules électriques, source d'énergie d'urgence, etc.)[18].

Les accumulateurs de petites dimensions «étanches au gaz» ou scellés, communément appelés piles rechargeables au nickel-cadmium (Ni-Cd), se trouvent sous forme bouton et cylindrique et peuvent théoriquement être rechargés plus de 1 000 fois. Les piles rechargeables, ou accumulateurs étanches au nickel-cadmium, utilisées pour des applications domestiques, sont de loin les plus économiques à l'usage. La composition particulière des électrodes des cellules étanches élimine les surpressions dues à l'émission d'oxygène lors d'une surcharge[14]. Les accumulateurs possèdent une durée de vie d'environ cinq ans (quelques fois, une garantie) et sont utilisés pour des applications comparables aux piles primaires, telles les outils, les radios, les magnétophones, les lampes de poche, les calculatrices, les appareils médicaux, les instruments de mesure, les équipements de communication, etc. Les piles rechargeables au nickel-cadmium ne se comparent pas favorablement aux piles primaires lorsque la densité d'énergie est une considération importante; les piles rechargeables Ni-Cd possèdent une capacité équivalente à un cinquième des piles alcalines[10]. Les piles rechargeables Ni-Cd ne sont pas recommandées comme alimentation électrique de réserve (par exemple, les détecteurs de fumée), étant donné qu'elles se déchargent rapidement et pourraient bien être

à plat au moment d'une sollicitation d'urgence. Elles possèdent par contre l'avantage d'offrir une puissance plus uniforme lors de l'utilisation[36].

Comme l'indique leur nom, les éléments actifs des accumulateurs Ni-Cd sont le nickel, utilisé pour la cathode, et le cadmium, utilisé pour l'anode. Le contenu de cadmium est généralement moins élevé que celui du nickel et représente environ 15 % du poids total[10]. Lorsque l'accumulateur est chargé, l'hydroxyde de nickel est oxydé, et l'hydroxyde de cadmium est réduit sous la forme métallique[18].

Tableau 9 Proportion de nickel et de cadmium contenue dans les différents types d'accumulateurs Ni-Cd[37]

Type d'accumulateur Ni-Cd	Nickel (%)	Cadmium (%)
Système ouvert	12	10
Système étanche (bouton)	32	15
Système étanche (cylindrique)	20	18

Section 4

Consommation des piles

Considérées longtemps comme des produits techniques spécialisés, les piles sont devenues des produits de grande consommation domestique. Le marché mondial des piles et accumulateurs suscite des activités économiques de l'ordre de plusieurs milliards de dollars. Il représentait, en 1984, plus de 19 milliards de dollars, comme le révèle le tableau 10. Le marché des piles primaires (alcalines, charbon-zinc, lithium et autres) représentait, la même année, environ sept milliards de dollars[11]. Au Japon seulement, la production des piles était de trois milliards de pièces en 1984[27]. Aux États-Unis, le marché des piles représentait un chiffre d'affaires de 2,5 milliards de dollars en 1985 et devrait atteindre 3,3 milliards de dollars en 1990[38]. Mentionnons que le marché total des piles aux États-Unis augmente de 5 % chaque année[39] et, selon la NEMA (National Electrical Manufacturers' Association), le marché des piles alcalines à lui seul augmente de 9 % par année[38].

Il est à noter que les évaluations de consommation des piles du présent chapitre ne tiennent pas compte des utilisations militaires, ces données n'étant habituellement pas disponibles.

4.1 Marché des piles charbon-zinc et alcalines

Les piles alcalines et les piles charbon-zinc détiennent la plus grande part du marché (environ 90 %) des piles d'utilisation domestique, tant par le chiffre d'affaires que par le tonnage et les quantités en cause.

Les piles traditionnelles charbon-zinc et celles au mercure ont servi longtemps de source d'énergie pour la majorité des applications électriques portatives. On observe toutefois que l'utilisation des piles charbon-zinc diminue, et que celle des piles alcalines est en nette progression[10]. En considérant la consommation des pays en voie de développement qui utilisent moins de

Tableau 10 Marché mondial des piles et accumulateurs[11*]

Type	Estimation* (milliards $)	Croissance annuelle du marché (%)
Alcalin	3,0	5-6
Charbon-zinc	3,0	0
Lithium	0,3	40
Autres	0,6	s.o.**
Ni-Cd	1,1	20-25
Plomb	11,0	3-5
Total	19,0	

* Pour l'année 1984

** «s.o.» signifie sans objet.

modèles «haut de gamme», on estime que 80 % des piles vendues à l'échelle de la planète sont aujourd'hui des piles charbon-zinc[10].

Rappelons que, à poids relativement semblable, les piles charbon-zinc ne renferment qu'un faible pourcentage du mercure contenu dans les piles alcalines, et que l'accroissement phénoménal sur le marché des piles alcalines, dans la dernière décennie, a entraîné une augmentation importante de l'utilisation du mercure par l'industrie des piles.

En 1975, lorsque la firme Duracell réalisa la première campagne publicitaire télévisée aux États-Unis, la consommation des piles alcalines représentait 15 % du marché américain. En 10 ans, la part du marché américain des piles alcalines a atteint 62 % et représentera d'ici à 1990, selon la firme, 75 % du marché[38]. Le marché américain des piles sèches aux États-Unis a presque doublé depuis 1980[20]. Les compagnies Duracell et Eveready (Energizer) se partagent à part égale 90 % du marché américain des piles alcalines, suivies de la compagnie Ray-O-VAc avec 5 % du marché[38]. Durant cette période, les piles charbon-zinc ont été remplacées par les piles alcalines, avec une hausse de 30 % du nombre vendu[11].

À l'inverse des Américains, une pile sur trois achetée par les Européens et les Japonais est alcaline, mais la situation change rapidement au profit des piles alcalines. Notons qu'il existe une demande croissante pour les piles alcalines de petites tailles aux dépens des plus grosses[10]; le format AA représentant près de 40 % des ventes de ce type de piles aux États-Unis[38].

Dans les pays industrialisés, la consommation moyenne de piles par habitant a été évaluée par plusieurs auteurs et elle varie de 7 à 15 piles par année selon les pays et les périodes d'analyse. Une étude de la firme Duracell révèle que les consommateurs américains ont acheté, en 1985, deux milliards de piles pour actionner 900 millions d'appareils; la famille moyenne américaine possède 10 appareils fonctionnant à piles et achète environ 32 piles chaque année[38].

Aux États-Unis et au Canada, il n'y a maintenant de publicité que pour les piles alcalines. Plusieurs détaillants n'ont d'ailleurs dans leur étalage que ce type de piles. Les Japonais, grands consommateurs de piles, semblent faire leurs achats avec parcimonie et savent profiter du faible coût des piles charbon-zinc pour des applications qui leur conviennent (usage intermittent à faible débit énergétique). Soulignons,

Tableau 11 Proportion de ventes à l'unité des piles alcalines[10,23,40,41]

Pays	Unités Piles alcalines (%)
États-Unis	60
Suisse	40
France	35
RFA	25
Autriche	30
Pays-Bas	30

toutefois, que les piles rechargeables au nickel-cadmium portent maintenant ombrage au succès des piles alcalines.

4.2 Marché des piles boutons

La micro-électronique et la miniaturisation offrent maintenant des appareils à des prix de plus en plus abordables. La production d'instruments miniatures électroniques entraîne une forte demande de source de puissance miniaturisée qui offre une plus grande densité d'énergie et des caractéristiques de décharge supérieures aux piles traditionnelles. À titre d'exemple, citons que le Japon a produit, en 1979, plus de 45 millions de calculatrices électroniques. La même année, 260 millions de montres ont été vendues, dont le tiers était des montres électriques[16]. Aujourd'hui, exception faite des montres de «prestige» à mouvement mécanique, la quasi-totalité des montres puisent leur énergie d'une pile bouton.

Après un essor foudroyant, le marché des piles boutons tend à se stabiliser[23]. L'utilisation des piles à l'oxyde de mercure diminue graduellement. Celles-ci sont remplacées par d'autres systèmes chimiques[3]. Dans les montres et les calculatrices, les piles à l'oxyde de mercure ont été remplacées principalement par des piles à l'oxyde d'argent, tandis que les piles zinc-air sont de plus en plus utilisées pour alimenter les prothèses auditives. La Japan Battery & Appliance Industries' Association déclarait, à la suite d'une demande des autorités japonaises en janvier 1984, qu'aucune nouvelle application des piles au mercure ne devrait faire l'objet de développement[27]. Par ailleurs, les piles solaires peuvent, dans certains cas, remplacer les piles au mercure pour des exigences de faible énergie, telles les calculatrices avec affichage de cristaux liquides et les montres[36].

En France, on observait, en 1981, que la majorité des piles à l'oxyde de mercure étaient utilisées dans les prothèses auditives, tandis que la plupart des piles à l'oxyde d'argent étaient employées comme source d'alimentation des montres[42]. Le tableau 12 montre la distribution d'utilisation des piles boutons de ce pays en 1981. Actuellement, cette répartition diffère, compte tenu de la consommation grandissante des piles au lithium et des piles zinc-air.

4.3 Marché des piles rechargeables

Plus populaire qu'autrefois, le marché des piles rechargeables au nickel-cadmium augmente constamment, et la possibilité de remplacer les piles primaires doit être étudiée. Ces dernières représentent un moyen coûteux d'obtenir de l'énergie, et il est prévisible que le marché des piles secondaires ou rechargeables compatibles aux mêmes utilisations soit de plus en plus important[16]. Il semble par contre qu'aucun changement draconien ne soit prévu pour les cinq à dix prochaines années[18]. Soulignons que le consommateur préfère souvent utiliser des piles primaires qui soient prêtes au moment où il en a besoin. En effet, les piles rechargeables ont une tendance marquée à se décharger sans sollicitation et exigent donc une plus grande discipline de la part de l'utilisateur qui doit périodiquement les recharger, même lorsqu'elles ne sont pas utilisées.

La production japonaise des piles rechargeables au nickel-cadmium (Ni-Cd) a atteint plus de 220 millions d'unités en 1984, ce qui représente une augmentation de 25 % par rapport aux années précédentes. La majorité des piles rechargeables Ni-Cd sont fabriquées aux États-Unis et au Japon.

La firme canadienne Moli Energy a mis au point des piles rechargeables au lithium de marque Molicel[MC], dont le rendement semble très prometteur. Ces piles secondaires, commercialisées depuis l'été de 1987 pour les besoins de l'industrie, seront offertes éventuellement au grand public. Cette firme est la première au monde à mettre au point un

Tableau 12 Utilisation des piles boutons en France en 1981[42]

Utilisation	Piles		
	HgO (%)	Ag_2O (%)	Autres (%)
Prothèses auditives	98	2	--
Photographie	43	30	27
Montres	4	95	1
Calculatrices	34	--	66

Tableau 13 Utilisation des piles HgO en RFA en 1983[42]

Utilisation	%
Prothèses auditives	50
Photographie	48
Montres	1
Autres	1

système de piles au lithium rechargeables (Li-MoS_2)[35].

4.4 Tendances et développement du marché canadien des piles et accumulateurs

La consommation des piles au Canada est semblable à celle des États-Unis. Le Canada demeure le principal client extérieur de l'industrie américaine des piles.

Le domaine audio et celui des jouets électriques présentent la hausse la plus marquée de l'utilisation des piles (tableau 14).

Notons que le marché canadien des piles a augmenté de 62 % pendant la période 1982-1986. Le marché des piles alcalines domine toujours, croissant même plus rapidement que le marché total des piles. La consommation des piles alcalines représentait plus de 66 % en 1986. La vente des piles rechargeables a plus que doublé pendant la même période. Si l'on considère la hausse du marché des piles de 62 % (figure 8), la consommation des piles rechargeables est passée de 3 %, en 1982, à 8 %, en 1986.

Parmi les formats de piles les plus populaires, celui de format AA a considérablement augmenté ces dernières années (figure 9), passant de 31 %, en 1982, à 47 %, en 1986. En d'autres termes, si l'on tient compte de la hausse de 62 % du marché total de piles au Canada, la consommation de piles de format AA a augmenté de 145 %. L'utilisation des formats C et D a augmenté durant la même période de temps, mais l'augmentation d'utilisation importante des piles de format AA a réduit leur part du marché total[11] (figure 9).

En ce qui concerne la consommation des piles boutons, la majorité des piles vendues pour les montres électriques sont de type oxyde d'argent. Les piles à l'oxyde de mercure sont encore utilisées pour les prothèses auditives,

mais sont graduellent remplacées par les piles zinc-air.

Parmi les marques de piles les plus vendues au pays, citons Duracell, Eveready (Energizer) et Mallory. Au Canada, la compagnie Duracell vend surtout des piles alcalines dont une partie est fabriquée en Ontario; le reste étant importé des États-Unis[43]. Une compétition existe entre les piles alcalines des marques Duracell et Energizer (Eveready)[11], comme le révèle le tableau 18. La compagnie Eveready gagne une part grandissante du marché des piles alcalines pendant que la vente de ses piles charbon-zinc diminue de façon importante[11]. Mentionnons qu'une quantité non négligeable de piles provient, entre autres, du Japon, de Taiwan et de Hong Kong; souvent, ces piles sont utilisées dans les produits électroniques importés.

La majorité des piles vendues au Canada sont achetées en quincaillerie. La quantité de piles vendues en pharmacie a augmenté substantiellement, de 9 %, en 1982, à 16 %, en 1986 (tableau 17). Les tableaux 14, 15, 16, 17 et 18 montrent la situation du marché canadien des piles.

4.5 Développement et tendances du marché

Les fabricants de piles ne sont pas enclins, pour différentes raisons, à fournir des données sur leurs ventes et leur consommation de mercure; une bonne partie des renseignements demandés est demeurée sans réponse.

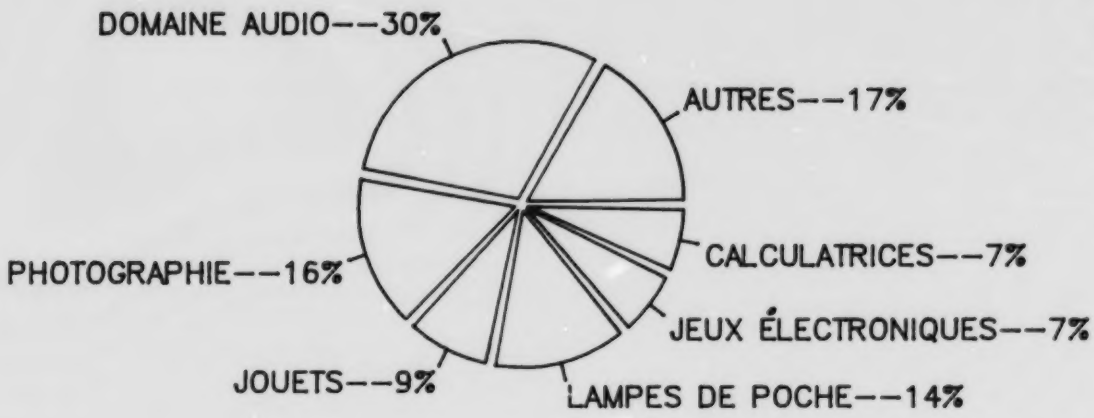
Les fabricants de piles sont constamment à la recherche de modifications pouvant améliorer le rendement de leurs produits. Depuis quelques années, la recherche est axée sur des piles à puissance supérieure, telles les piles à l'oxyde d'argent-zinc, air-zinc et les piles alcalines. Le développement des possibilités d'application des piles est équilibré par les techniques nouvelles qui consomment moins d'énergie. Notons aussi que l'utilisation des piles dans le domaine médical augmente[23].

De façon générale, l'utilisation des piles charbon-zinc diminue et celle des piles

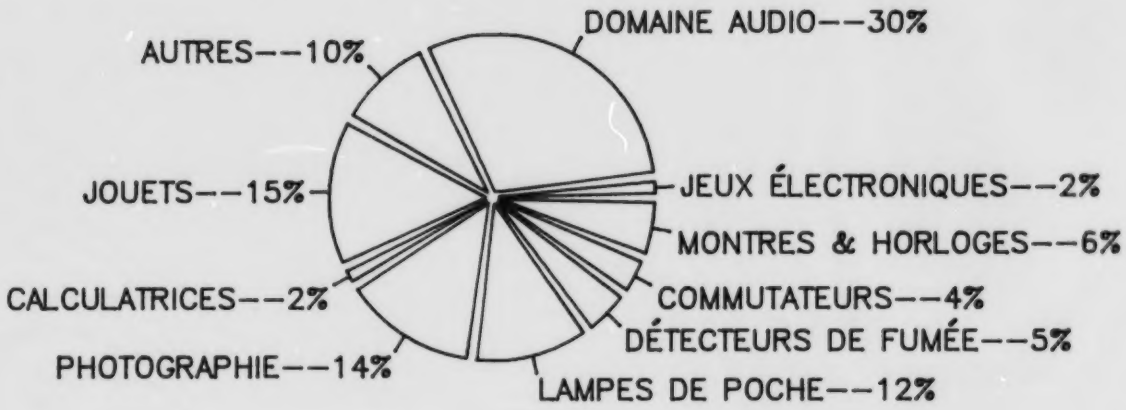
Tableau 14 Utilisation canadienne des piles électriques[11*]

Application	1982 (%)	1986 (+ 62 %)
Domaine audio	30	30
Photographie	16	14
Jouets	9	15
Lampes de poche	14	12
Jeux électroniques	7	2
Calculatrices	7	2
Autres	17	10
Détecteurs de fumée		5
Commutateurs		4
Montres, horloges		6

* Canadian Battery Market, Application Trends



1982



1986 *

* + 62%

Figure 6 **Utilisation des piles au Canada, 1982-1986**[11]

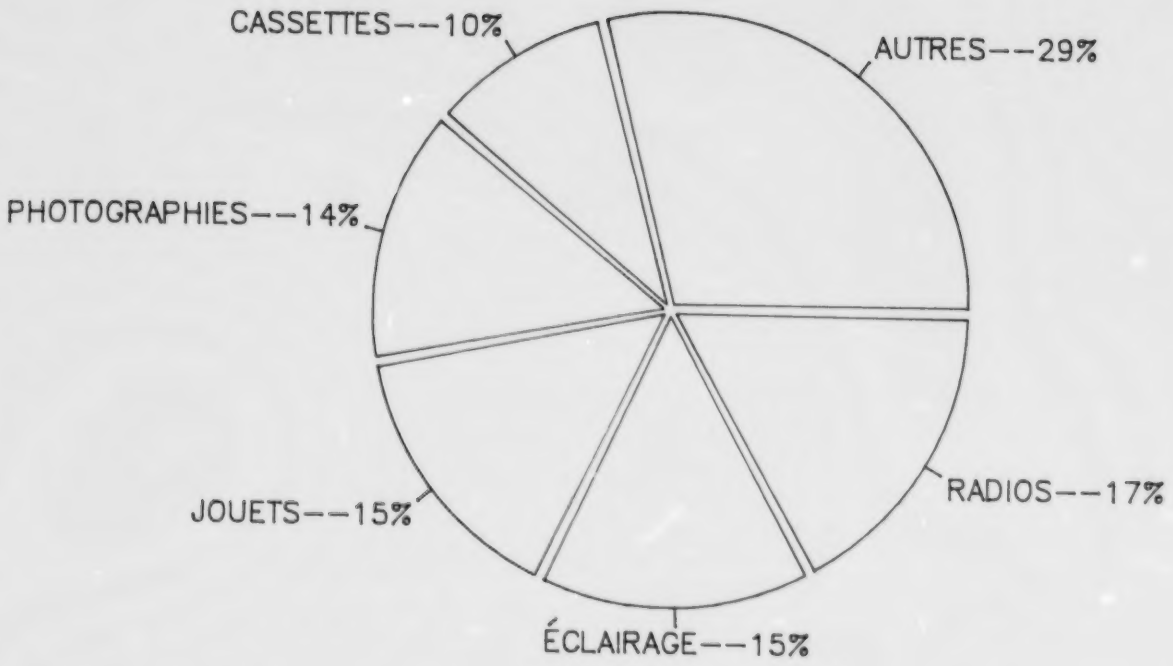


Figure 7 **Utilisation des piles au Canada en 1987[11]**
Eveready - Facts about Canadian primary battery

alcalines augmente de 5 % à 20 % par année[11,23,38].

Certains types de piles voient leur popularité diminuer, telles les piles à l'oxyde de mercure, et d'autres types de piles font leur apparition sur le marché. Compte tenu de la polémique entourant les piles au mercure, leur production sera de plus en plus réduite[12]. Les piles au mercure sont remplacées par des piles zinc-air, des piles au lithium et des piles boutons alcalines. La vente des piles au mercure dans les pays de la CEE a diminué de 30 % entre 1980 et 1983. Les fabricants mentionnent que, d'ici les cinq ou dix prochaines années, les piles au mercure seront utilisées seulement pour certaines applications, particulièrement dans le domaine militaire[42]. Les appareils électroniques modernes exigent une quantité de plus en plus faible d'énergie pour leur fonctionnement, et cette diminution de la demande d'énergie touche considérablement le marché des piles. Les piles zinc-air et celles au lithium semblent sur la bonne voie.

Les fabricants sont tous à l'affût de la pile de l'avenir qui serait plus petite, plus puissante et

Tableau 15 Formats des piles utilisées au Canada selon leur type [11]

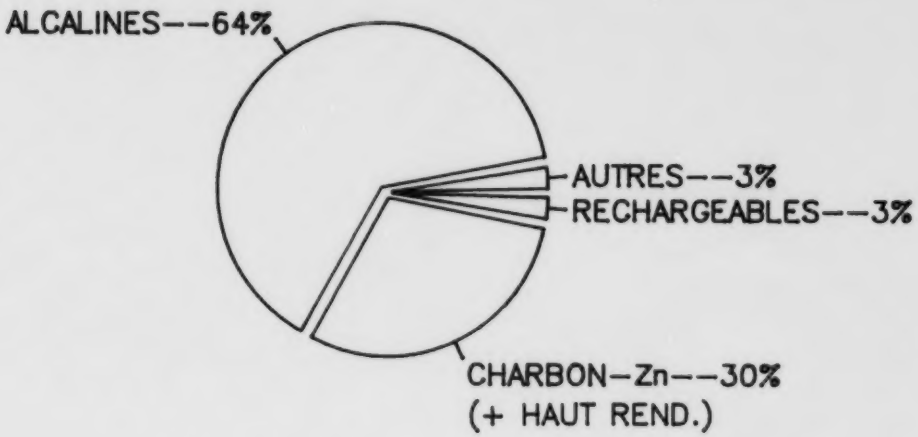
Format	Piles charbon-zinc (%)	Piles alcalines (%)
AA	41	54
C	21	15
D	24	16
9 V	12	10
Autres	2	5

Tableau 16 Tendances du marché des piles au Canada [11]

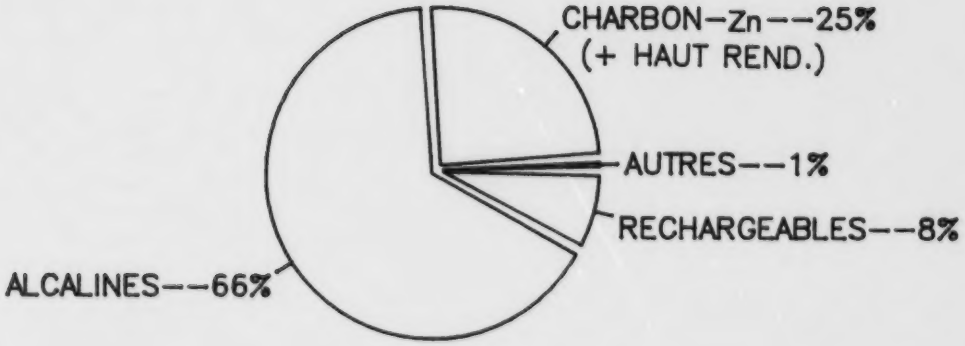
Type de pile	%
Ni-Cd	20-25
Alcaline	5-6
Lithium (prim.)	40
Charbon-zinc	0

Tableau 17 Distribution des achats de piles au Canada [11]

Établissement commercial	1986 (%)
Quincaillerie	21
Magasin d'escomptes	17
Épicerie	12
Pharmacie	16
Domaine audio	7
Caméra	3
Autres	



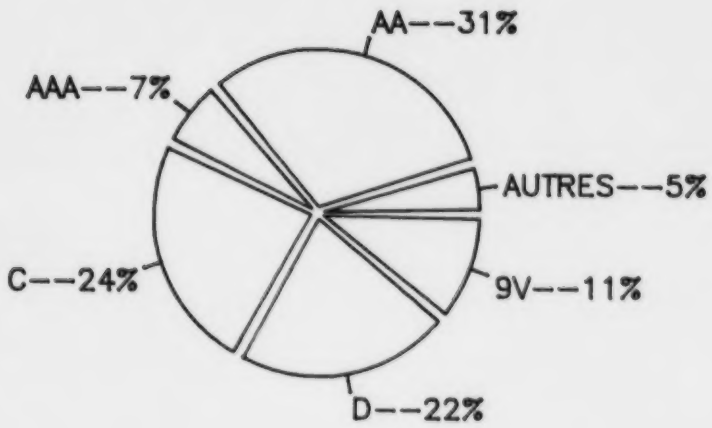
1982



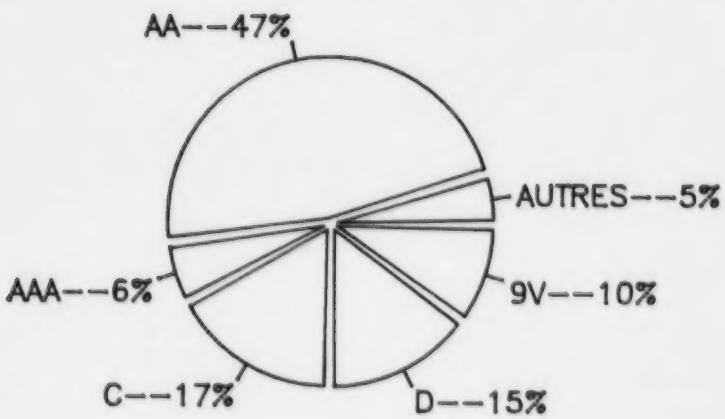
1986 *

* + 62%

Figure 8 **Types de piles vendues au Canada durant la période 1982-1986, marché canadien des piles**[11]



1982



1986

Figure 9 **Formats de piles vendues au Canada durant la période 1982-1986, marché canadien des piles**[11]

Tableau 18 Pourcentage des ventes des différentes marques de commerce au Canada[11]

Marque de commerce	1982 (%)	1986 (%)
Duracell	44	44
Energizer	17	16
Eveready	20	17
Ray-O-VAc	4	4
Mallory	4	3
Dynacharge	2	3
Autres	9	13

moins polluante. De toute évidence, le marché des piles augmente, et il est à prévoir qu'il continuera d'augmenter. La tendance favorise les piles de haute qualité, même s'il est peu probable que les piles charbon-zinc disparaissent du marché. On prévoit aussi des taux d'utilisation grandissants pour les accumulateurs nickel-cadmium[23].

Section 5

Mercure et élimination des ordures ménagères

5.1 Mercure dans les ordures ménagères

La source du problème à l'étude provient évidemment du fait que les piles usées contenant du mercure sont jetées à la poubelle et accompagnent les ordures ménagères à leur élimination, que ce soit l'enfouissement sanitaire, l'incinération ou, plus rarement, le compostage. Il nous a semblé que le compostage, autrefois fort populaire en Europe, devient une méthode d'élimination de moins en moins utilisée. La présence croissante de «petites quantités de déchets dangereux» (PQDD ou, en anglais, Small Quantities of Hazardous Waste, SQHW) n'est pas étrangère à cette perte de popularité.

La modification des habitudes de consommation se reflète directement sur la composition et le volume des déchets. Les ordures ménagères deviennent de plus en plus polluées par toutes sortes de produits indésirables jetés à la poubelle, tels que les vieux médicaments, les insecticides, l'huile, la peinture, les solvants, les décapants, les détecteurs de fumée, les thermomètres, les tubes fluorescents et les piles usées. Ces déchets sont jetés à la poubelle tout particulièrement lors d'un déménagement, activité relativement fréquente ici lorsque l'on considère la mobilité des Nord-Américains. Encore là, l'Europe fait figure de pionnière dans la gestion des PQDD. Dans plusieurs pays, les citoyens peuvent joindre par téléphone un agent gouvernemental et s'informer de l'endroit le plus rapproché où ils peuvent se débarrasser adéquatement de leurs PQDD. Par exemple, les citoyens suisses peuvent (et doivent légalement) rapporter les vieux médicaments au pharmacien et les piles usées à tous les détaillants de piles.

L'ensemble de la population des pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) produit annuellement environ 350 000 tonnes de PQDD. De ce nombre, les consommateurs nord-américains seraient responsables d'une quantité évaluée entre 150 000 et 175 000 tonnes[14].

En règle générale, les Nord-Américains génèrent beaucoup plus de déchets que les Européens, comme le montre le tableau 19.

Les piles usées représentent manifestement une part importante des métaux lourds associés aux PQDD. Quel que soit le mode d'élimination des ordures, le mercure contenu dans les piles migrera tôt ou tard dans le milieu et doit, par conséquent, être considéré comme un rejet dans l'environnement si des mesures particulières ne sont pas mises en oeuvre.

Comme l'indiquent d'autres parties du présent rapport, le marché des piles connaît actuellement une croissance phénoménale.

Aux États-Unis, on estimait à 500 tonnes par année la quantité totale de mercure se trouvant dans les ordures ménagères en 1970[46]; aujourd'hui, les piles usées seraient responsables à elles seules d'environ 1 000 tonnes de mercure.

Il n'y a pas de consensus sur les répercussions environnementales de la présence des piles usées dans les ordures ménagères. Quelques études scientifiques, habituellement subventionnées par les fabricants, affirment que les concentrations de mercure se trouvant dans les ordures ménagères sont relativement faibles et n'engendreraient aucun problème[3]. Selon d'autres sources, les piles usées

Tableau 19 Quantité d'ordures ménagères produite par année[8,44,45]

Pays	Quantité d'ordures (kg/hab.)
Europe	~ 300
Pays-Bas	~ 338
Suisse	~ 350
États-Unis	~ 710
Canada	~ 666
OCDE	~ 400

constitueraient un danger pour l'environnement lorsqu'elles sont éliminées, compostées ou, plus particulièrement, lorsqu'elles sont incinérées avec les ordures ménagères.

5.2 Émissions de mercure en fonction du mode d'élimination

Nonobstant la présence de produits indésirables dans les ordures, la majorité des pays industrialisés font face à un sérieux problème d'élimination de leurs déchets solides, problème qui atteindra bientôt, pour certains, un niveau de crise. Les États-Unis, par exemple, songeraient à exporter des ordures ménagères comme cela fut au grand jour, de façon spectaculaire en 1987, par l'odyssée de la «poubelle flottante» new-yorkaise.

Tout le monde génère des déchets, mais peu de gens acceptent de vivre à proximité d'un lieu d'élimination des ordures ménagères. Le syndrome du «pas dans ma cour» («not in my backyard») est manifesté par plusieurs.

Les gens semblent s'opposer encore plus farouchement à l'implantation d'un lieu d'enfouissement sanitaire qu'à la construction d'un incinérateur. Les citoyens considèrent souvent le premier comme une méthode d'élimination trop rudimentaire, voire même dépassée. Par contre, les incinérateurs ont, depuis quelques années, fort mauvaise presse. Outre le mercure, des émissions de dioxines, de furanes, d'hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA), etc., y sont de plus en plus associées. Bientôt, les incinérateurs devront tous effectuer un traitement plus élaboré des gaz de combustion.

Le compostage est un mode d'élimination des ordures très peu pratiqué au Canada; s'il en était, les piles, tout comme le verre, le métal et les plastiques, devraient être retirées avant le processus de compostage.

Peu importe la méthode d'élimination des ordures, on devra s'affairer à réduire le volume des déchets produits et s'ouvrir davantage aux différents programmes de récupération et de collecte sélective.

5.2.1 Enfouissement sanitaire

Pour la plupart des pays, l'enfouissement sanitaire demeure le mode d'élimination le plus important bien qu'il soit en régression au profit de l'incinération. Un lieu d'enfouissement bien conçu devrait inclure un programme de collecte ou de surveillance des eaux de ruissellement et de lixiviation et ne pas nuire au milieu environnant.

Lorsqu'elles sont éliminées avec les ordures ménagères, les piles se dégradent et libèrent tôt ou tard leur contenu de mercure. La corrosion altère la chemise métallique des piles, qui libérera du mercure après une période variant de un à trois ans[23]. Une partie

du mercure percolera ainsi jusqu'à la nappe phréatique et migrera avec elle vers un cours d'eau si le lixiviat n'est pas recueilli et traité adéquatement; ce qui est malheureusement souvent le cas (un traitement biologique n'est pas suffisant).

Par ailleurs, une partie importante du mercure demeurerait captive de l'endroit. De fait, les matières organiques contenues dans les ordures ménagères subissent une dégradation anaérobie qui engendre des sous-produits sulfurés en grande quantité; or, le mercure a une grande affinité pour le soufre et se transforme, en s'y combinant, en un composé hautement stable et insoluble[47,48].

Il n'en reste pas moins que le sol y sera contaminé et donc peu propice à une réutilisation des lieux à la fin des opérations d'enfouissement. Le Japon est particulièrement aux prises avec ce problème. Une étude, dirigée par Gotoh (1986), signale une concentration moyenne de mercure de 3,0 mg/kg dans le sol des lieux d'enfouissement sanitaire japonais[27].

La quasi-totalité des auteurs s'entendent, toutefois, pour considérer l'enfouissement sanitaire moins problématique à l'égard du mercure que l'incinération. L'élimination par enfouissement sanitaire demeure moins onéreuse que les autres modes d'élimination des déchets, bien que les difficultés de recherche d'endroits appropriés d'élimination aient régulièrement augmenté ainsi que les coûts connexes[44]. Par exemple, en RFA, le coût de l'évacuation des déchets municipaux a augmenté de 50 % au cours des cinq dernières années en termes nominaux[44]. Des projets ont été accomplis dans l'étanchéité des fonds d'enfouissement, la maîtrise des infiltrations, les installations de dégazage, la surveillance de l'arrivée des déchets, l'inspection des déchets avant l'évacuation, l'utilisation de véhicules spéciaux pour la compression des déchets, des mesures de protection à long terme et des améliorations spécifiques des lieux d'enfouissement[44].

5.2.2 Incinération

L'urbanisation et la dépendance de plusieurs pays industrialisés vis-à-vis de l'énergie importée et de la croissance de son coût ont rendu l'incinération des ordures ménagères de plus en plus attrayante et rentable dans les pays industrialisés et dans les régions à forte densité de population[44]. L'incinération permet de réduire de 80 % à 90 % la masse des ordures. Les cendres résiduelles sont par la suite éliminées.

Les quantités d'ordures incinérées depuis les cinq dernières années ont augmenté de plus de 30 % dans les pays industrialisés. Le Canada incinère relativement très peu d'ordures ménagères, comme le montre le tableau 20.

Les incinérateurs municipaux sont généralement mal conçus pour détruire les PQDD et, par conséquent, sont fréquemment responsables d'émissions de métaux lourds, de dioxines[51] et de HPA cancérogènes[52].

Très volatil, le mercure contenu dans les ordures se vaporise rapidement lors de la combustion, et la quasi-totalité traverse les équipements traditionnels de traitement des fumées (filtres à manchon ou électrostatiques) et est émise directement dans l'atmosphère[8]. Aux Pays-Bas et en RFA, plus de 50 % des émissions de mercure est attribué aux incinérateurs municipaux[8,23,33]. Les piles alcalines seraient en majeure partie responsables de ces émissions[23]. Recondensé dans l'atmosphère, le mercure se dépose au sol avec les précipitations. Une oxydation du mercure est favorisée en présence d'humidité. Déposé sous sa forme oxydée, le mercure peut être réémis après une transformation biochimique en méthylmercure et diméthylmercure.

De toute évidence, l'incinération des piles est la méthode d'élimination la plus polluante[54]. Les filtres électrostatiques n'éliminent que 5 % de mercure contenu dans les gaz de combustion[23].

Tableau 20 Proportion des ordures ménagères éliminées par incinération[42,45,49,50]

Pays	% d'ordures ménagères incinérées	Année
Suisse	80	1987
Danemark	75	1983
Japon	69	1984
Pays-Bas	40	1983
Suède	37	-
France	37	1983
RFA	30	1983
Belgique	30	-
Italie	24	1983
Angleterre	14	1984
États-Unis	12	1984
Canada	4	1986

Il est possible, par contre, de réduire passablement l'émission de mercure par un lavage des gaz approprié. Les résultats obtenus par le Programme national (Canada) d'essais et d'évaluation des incinérateurs (PNEEI) démontrent clairement qu'un refroidissement des gaz de combustion est nécessaire pour une éliminination efficace du mercure[55].

Il existe trois grandes catégories de systèmes d'épuration des gaz de combustion avec un refroidissement des gaz sous une forme ou une autre :

- l'épuration par voie humide;
- l'épuration par voie humide-sèche;
- l'épuration par voie sèche avec conditionnement des gaz.

Le premier système abaisse la température des gaz de combustion à environ 70 °C et réduit très efficacement le contenu de mercure. L'épuration par voie sèche avec conditionnement des gaz abaisse la température à environ 140 °C et permet une réduction d'environ 90 %[48,55].

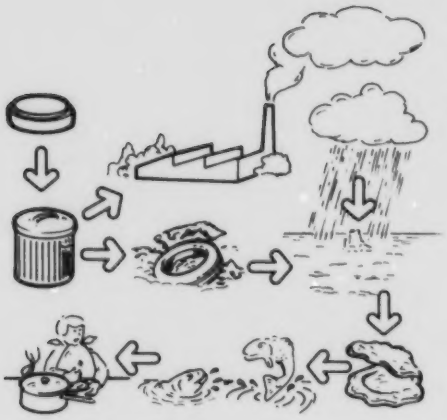
Il devient évident que des équipements de lavage des gaz doivent s'ajouter aux filtres traditionnels. Ces derniers ne sont efficaces que pour réduire les polluants se présentant sous forme particulaire : les cendres volantes.

Tous les composés toxiques retenus par différents moyens devront subir un traitement particulier avant d'être enfouis. La figure 10 illustre le problème relié à l'élimination des piles usées par les réseaux classiques d'élimination des ordures ménagères.

5.3 Cadmium dans les ordures ménagères

Le cadmium est un élément chimique stable, ayant de multiples applications

CHEMINEMENT ET CONCENTRATION DU MERCURE
DANS LES CHAÎNES ALIMENTAIRES



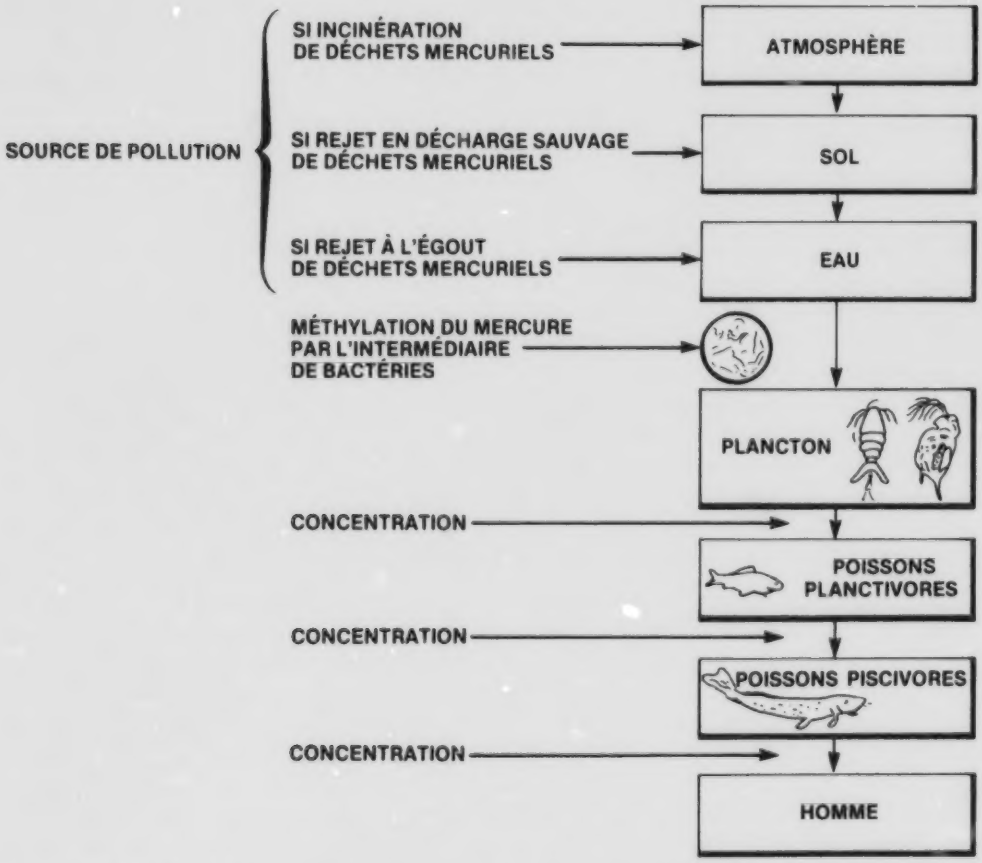


Figure 10 **Problèmes environnementaux associés à l'élimination des piles usées par les réseaux d'élimination des ordures ménagères**[56]

(galvanoplastie, pigmentation, etc.), mais dont la toxicité est importante, même supérieure à celle du mercure. Les effets du cadmium sur la santé humaine résultent surtout de l'ingestion d'aliments contaminés. Ses principaux effets sont cancérogènes et tératogènes. Le cadmium provoque aussi des affections du foie, des reins, des poumons, du sang (anémie) et des troubles cardiovasculaires ou d'hypertension. Il possède une longue demi-vie biologique et se concentre dans la chaîne alimentaire. Il est aussi reconnu pour être le plus mobile des métaux lourds, en particulier dans les sols[8].

La consommation de cadmium pour la fabrication d'accumulateurs ou piles rechargeables a considérablement augmenté, en particulier au Japon et aux États-Unis[18]. Il a été estimé que la proportion de consommation de cadmium reliée aux piles secondaires en Allemagne de l'Ouest, au Royaume-Uni, au Japon et aux États-Unis est passée de 8 %, en 1970, à 29 %, en 1982. Avec certaines réserves, les auteurs estiment que 33 % du cadmium total était utilisé, en 1984, pour la fabrication de piles secondaires[18].

La consommation du cadmium était, en 1984, sept fois plus importante qu'en 1970, comme le montre le tableau 21.

La majorité des accumulateurs de type industriel font l'objet d'une récupération, notamment en Europe. Par contre, les piles rechargeables d'utilisation domestique se retrouvent tôt ou tard, telles les piles primaires, dans le réseau des ordures ménagères. Elles possèdent une longue durée de vie, elles peuvent être rechargées plus de 1 000 fois, et certains fabricants offrent une garantie de cinq ans. Il est donc difficile d'évaluer actuellement les répercussions environnementales de l'avalanche des piles rechargeables à laquelle nous assistons puisque celles-ci devront être éliminées en masse d'ici quelques années.

Le tableau 22 montre les concentrations moyennes de cadmium de certains types de déchets susceptibles de se retrouver dans les ordures ménagères.

Des 50 tonnes de cadmium contenues dans les ordures ménagères aux Pays-Bas, 90 % se retrouverait dans les lieux d'enfouissement sanitaire[8]. Le cadmium provenant des piles rechargeables usées n'est libéré qu'après une période considérable de temps. Dans des conditions anaérobies, le cadmium est intimement lié aux matières organiques et migre lentement. L'adsorption du cadmium dans le sol entraîne une atténuation considérable de la concentration de cadmium dans le lixiviat[8]. Si le lieu d'enfouissement n'est pas pourvu d'une membrane isolante étanche, le cadmium contenu dans le lixiviat peut tôt ou tard se répandre dans l'environnement, en percolant jusqu'à la nappe phréatique sous-jacente pour ensuite s'échapper avec celle-ci hors de l'endroit.

Tableau 21 Tendances de consommation du cadmium dans la fabrication d'accumulateurs et de piles[18]

Année	États-Unis (t)	Japon (t)	Pays membres CEE (t)
1960	230	20	-
1970	174	176	-
1984	1 141	1 389	1 375

Tableau 22 Concentration de cadmium contenue dans certains types d'ordures[8]

Type	Concentration de cadmium (ng/kg)
Textiles	6
Plastiques	75
Non ferreux	<500
Cuirs, caoutchouc	
Linoléum	33
Papier/carton	<1
Piles rechargeables	150 000 000 000

Contrairement au mercure qui se vaporise rapidement lors de l'incinération, le cadmium, lui, demeure plutôt sous forme particulaire et se retrouve dans les cendres résiduelles et les cendres volantes. Ces dernières sont retenues par les filtres à manchon ou électrostatiques. Environ 3 % seulement du cadmium réussirait à s'échapper. La concentration de cadmium dans les résidus de l'incinération est, par conséquent, de plus en plus élevée. L'enfouissement de ces résidus sans traitement préalable fera bientôt l'objet d'une remise en question. Les concentrations de cadmium présentes dans les cendres de combustion excéderaient dans plusieurs cas les concentrations maximales permises.

Il est pratiquement impossible d'évaluer les concentrations de cadmium qui s'échappent d'un lieu lorsque les eaux de lixiviation ne sont pas recueillies[8].

Aux Pays-Bas, cette source d'émission de cadmium n'est actuellement pas considérée comme menaçante pour l'environnement[8]. Les autorités néerlandaises encouragent, par contre, la collecte des piles rechargeables, par mesure préventive.

Section 6

Expérience étrangère

6.1 Actions et législations multilatérales

Le problème posé par l'élimination des piles et des accumulateurs usés est une question d'actualité dans la CEE[37]. La CEE a élaboré une proposition de directives et de mesures destinées à protéger l'environnement, entre les pays membres, des risques qui découlent des matières nocives contenues dans les piles et accumulateurs. Une réduction progressive de la teneur en mercure des piles alcalines s'effectue présentement dans plusieurs pays européens par le biais de cette directive.

Les pays membres de la CEE, ainsi que la Suisse, ont accepté à l'unanimité les mesures proposées. La directive comporte plusieurs articles relatifs au marquage, au ramassage et à l'élimination des piles et accumulateurs[37]. Des articles recommandent l'utilisation de piles à faible teneur en mercure, la limitation de la teneur en mercure dans les piles à une valeur identique pour tous les pays membres afin de ne pas déséquilibrer les échanges commerciaux et le marquage des piles. Les pays concernés encouragent désormais les fabricants et les importateurs de piles à abaisser énergiquement le taux de mercure contenu dans les piles alcalines d'ici à 1990.

La directive propose aussi aux fabricants et aux importateurs une taxe d'élimination et un droit d'importation du même montant, destinés à couvrir les frais d'élimination[37]. La fixation de la valeur limite de mercure des piles alcalines devrait atteindre 0,15 % en poids total en 1990[21].

Bien que convaincus qu'il n'existait aucun risque réel pour l'environnement, les membres de l'Association des fabricants de piles européens, Europile, ont accepté d'adopter la technologie la plus récente permettant de réduire considérablement la teneur en mercure dans les piles alcalines d'ici à 1990 (section 3.4). Quatre étapes de réduction ont donc été imposées aux fabricants d'ici à 1993 :

- 0,50 % en poids de Hg jusqu'au 87 01 01;
- 0,30 % en poids de Hg jusqu'au 89 01 01;
- 0,15 % en poids de Hg jusqu'au 91 01 01;
- 0,10 % en poids de Hg jusqu'au 93 01 01[37].

En d'autres termes, le contenu de mercure dans les piles alcalines sera réduit de 85 % en 1990. Mentionnons que la technologie actuelle ne permet pas de réduction supplémentaire à 0,10 % de mercure dans les piles alcalines[37]. Les coûts relatifs à ces modifications sont évalués à 80 millions d'ECU (monnaie de compte de la Communauté européenne)[21,25].

Des mesures visant à réduire le contenu de mercure dans les piles alcalines s'effectuent au Japon, depuis 1984. Les fabricants de piles américains entendent également abaisser le contenu de mercure dans les piles alcalines, bien qu'aucune mesure législative coercitive ne soit actuellement en vigueur.

En ce qui concerne le problème relié aux piles à l'oxyde de mercure, plusieurs pays favorisent la substitution et encouragent l'utilisation des piles zinc-air au lieu des piles au mercure. La substitution des piles à l'oxyde de mercure pour d'autres applications a été retardée par le prix élevé des piles à l'oxyde d'argent, suite à une hausse considérable du prix de l'argent sur le marché vers 1980[42]. La substitution des piles rechargeables au nickel-cadmium n'est présentement pas envisageable.

Le principe du pollueur-payeur s'applique dans certains pays aux fabricants et aux importateurs de piles, où une loi en ce sens est en vigueur, et où le coût de l'élimination leur est imputé par une taxe spéciale d'élimination.

L'adoption unanime de certaines mesures augmente les possibilités d'exercer une influence sur les fabricants de piles, et ceux-ci pourront s'adapter aux décisions des autorités gouvernementales si elles ne diffèrent pas trop d'un pays à l'autre.

Sur le plan législatif, la Suisse est le premier pays européen à avoir émis des restrictions quant à l'identification des piles polluantes et à leur élimination. Les intervenants concernés (utilisateurs, détaillants, fabricants et importateurs de piles) doivent rapporter, depuis 1986, toutes les piles usées identifiées comme polluantes. La section 6.2.2 concernant l'expérience de ce pays en la matière élabore cette réglementation.

D'autres pays, tels les Pays-Bas, la Suède et le Danemark, ont émis, ou sont en voie d'émettre, des codes de pratique encourageant la substitution des piles HgO ou le ramassage des piles usées.

L'identification des piles a pour but d'inciter les consommateurs à rapporter les piles identifiées à un centre de dépôt de déchets spéciaux ou chez les détaillants en fonction du programme organisé. En d'autres termes, le marquage des piles indique si une pile doit être éliminée d'une manière particulière ou si elle peut être jetée avec les ordures ménagères.

Pour être efficace et réalisable, le système de marquage se doit d'être reconnu et adopté à l'échelle internationale. Plusieurs suggestions concernant le marquage des piles potentiellement dangereuses pour l'environnement ont été proposées, notamment le codage par coloration des piles et l'apposition de pictogrammes. À la suite des directives émises par la CEE, le marquage des piles se doit d'être uniforme pour tous les pays membres, afin de faciliter la collecte. Ainsi, toutes les piles contenant plus de 2 % de mercure ou de cadmium seront marquées de rouge, de manière appropriée et visible. Les piles dont la teneur en mercure ou en cadmium se situe entre 0,15 % et 2 % seront marquées de jaune[37]. Le piles boutons sont trop petites pour être marquées de cette façon.

L'identification des piles boutons à l'oxyde de mercure existe déjà à l'échelle internationale et est adoptée par le Comité international d'énergie. Les piles HgO sont ainsi désignées par un symbole facilement compréhensible, soit un «+» entouré d'un cercle (EIC Standard TC 35)[37]. L'emballage des piles HgO comporte même, dans certains pays, un texte explicatif incitant les utilisateurs à rapporter les piles après usage. L'identification adéquate des piles polluantes peut augmenter le taux de collecte. Ainsi, dans certains pays, les piles alcalines et les piles rechargeables au nickel-cadmium pourront être acheminées à des lieux d'élimination spéciaux ou être recyclées, et les piles charbon-zinc pourront être jetées sans problème avec les ordures ménagères.

Plusieurs organismes étrangers ont proposé un système de consigne pour les piles polluantes, afin d'augmenter le taux de collecte. Selon le système, à l'achat de piles, l'acheteur paierait au détaillant une somme qui lui serait remboursée lors de la restitution[37]. Notons que l'industrie manufacturière de même que les détaillants s'opposent fermement à toutes les formes de consigne des piles, car, selon eux, un tel système serait trop lourd à mettre en place et impliquerait de fortes dépenses administratives pour les distributeurs de piles, tout en rendant la tâche plus difficile aux détaillants.

Le système de consignation des piles fut donc rejeté par les pays membres de la CEE[37]. Les programmes de collecte existants misent plutôt sur la participation volontaire des consommateurs[58].

6.2 *Programmes de collecte des piles usées à l'étranger*

Le souci grandissant de la population, en ce qui concerne la présence du mercure dans l'environnement, a conduit les autorités ou collectivités de plusieurs pays à mettre en oeuvre des programmes visant à récupérer les produits contenant du mercure en petite quantité, tels les piles primaires usées et les thermomètres. La collecte et le recyclage de ces produits potentiellement dangereux pour l'environnement sont devenus pratique courante dans plusieurs pays européens de même qu'au Japon.

La récupération des piles usées se heurte, de manière générale, à un certain nombre d'obstacles d'ordre technologique ou économique qui limitent les programmes de collecte organisés. Il s'ensuit, dans de nombreux cas, que des projets sont interrompus après peu de temps.

Selon plusieurs sources, la collecte et la récupération des piles usées ne doivent pas être considérées comme une opération lucrative telle celle du papier, du verre ou du métal, mais comme une nécessité répondant à la demande des collectivités.

Généralement, les autorités administratives ne sont pas disposées à absorber le déficit des opérations de collecte et de recyclage des piles usées. Lorsque c'est le cas, elles doivent être en mesure de rectifier la note aux fabricants et aux distributeurs de piles. Notons que les autorités des pays intéressés à mettre en oeuvre des programmes de collecte des piles usées préfèrent négocier un système avec les représentants de l'industrie des piles plutôt que légiférer. Les fournisseurs de piles auront à assumer, dans les deux cas, les coûts du système[14].

L'étude des différents programmes de collecte des piles usées nous permet de conclure que généralement :

- La récupération des piles à l'oxyde d'argent est rentable. Pour cette raison, elle est effectuée partout et habituellement organisée par des récupérateurs indépendants.
- La récupération des piles à l'oxyde de mercure n'est pas économiquement rentable, mais peut le devenir si les lots de piles collectées contiennent aussi des piles à l'argent. Par contre, il est fort probable que, dans un tel cas, les détaillants y retirent eux-mêmes les piles à l'argent pour les revendre aux récupérateurs privés. La majorité des programmes sont basés sur la collecte des piles HgO.
- La collecte des piles alcalines est coûteuse, et leur récupération, compte tenu du faible pourcentage de mercure contenu, n'est pas rentable. De ce fait, le coût du traitement excède la valeur des matériaux récupérés.

Les détaillants acceptent généralement que des boîtes de collecte ou récipients collecteurs soient installés dans leur commerce pourvu qu'aucun coût de collecte ne leur soit imposé.

Un circuit de collecte simple et court est généralement utilisé et il peut être représenté de la façon suivante :

consommateur→détaillant→collecteur→usine de traitement.

Les éléments de base des programmes de collecte de piles usées se ressemblent en ce qui concerne les mécanismes d'opération :

- campagne de sensibilisation du public;
- mise en place de récipients collecteurs;
- organisation de la collecte des récipients;
- entreposage;
- traitement adéquat des piles collectées[14].

Certains programmes de collecte des piles usées en sont à la phase de lancement (États-Unis, Canada), et d'autres, à l'étape de

développement. Lors de la phase de lancement, le programme est généralement accompagné d'une campagne d'information et de sensibilisation adaptée aux dangers de l'élimination incontrôlée des piles usées et axée sur eux.

Pour ce faire, les responsables doivent envisager des programmes d'information et d'éducation qui encouragent les consommateurs à participer. Le programme d'information se poursuit généralement tout au long des activités pour soutenir et accroître l'intérêt du public. La diffusion de dépliants et de brochures est la méthode d'information la plus couramment adoptée, suivie de circulaires adressées aux détaillants, d'autocollants avec logo, d'affiches, de messages à la radio, d'articles de presse écrite, de conférences, de lignes téléphoniques spéciales, etc. Le programme ne peut réussir que si chaque utilisateur est bien conscient qu'il faut rapporter les piles usées. Le programme de sensibilisation informe le public sur les possibilités de choix entre les différents types de piles.

Par le passé, le problème des piles usées n'était associé qu'aux piles à l'oxyde de mercure. Selon les responsables des programmes de collecte, ces piles, dont la teneur en mercure s'élève à 30 % du poids total, devaient impérativement être tenues à l'écart de l'incinération.

Les premiers programmes d'envergure de récupération des piles usées à l'oxyde de mercure ont débuté vers 1976[42] et sont devenus, par la suite, pratique courante dans plusieurs pays européens. À l'époque, le contenu de mercure dans ces piles, dont la petitesse en faisait des produits faciles à stocker, assurait un traitement techniquement et économiquement réalisable. De nos jours, la situation a changé à cause de la baisse du prix du mercure sur le marché et de l'utilisation décroissante de ces piles. Soulignons que la conjoncture actuelle incite la collecte des piles à l'oxyde d'argent aisément valorisables.

Europile prend position quant à l'intervention des fabricants dans le programme de collecte des piles usées, même si elle se dit convaincue qu'il n'existe aucun problème relié à l'élimination des piles usées. Des négociations ont été entreprises avec les autorités gouvernementales de différents pays au regard des restrictions imposées; les restrictions de la Suisse étant les plus sévères. De plus, les fabricants ont exposé récemment leur intention d'encourager l'utilisation des piles zinc-air au lieu des piles au mercure pour les prothèses auditives.

Les piles alcalines représentent des quantités de mercure beaucoup plus importantes dans l'environnement que les piles au mercure. De ce fait, elles sont collectées depuis peu dans certains pays. Les programmes incluant les piles alcalines comprennent généralement les piles rechargeables au nickel-cadmium. Les programmes de collecte étrangers visant les piles cylindriques (alcalines, Ni-Cd, etc.) sont représentés au tableau 24.

Sitôt hors d'usage, les piles rechargeables au Ni-Cd, ainsi que les jouets et les appareils ménagers qui en sont munis, aboutissent dans les ordures ménagères et contribuent à augmenter la teneur en cadmium. Selon une étude menée par l'Office fédéral de la protection de l'environnement (OFPE, Suisse), les piles rechargeables au nickel-cadmium sont, du point de vue environnemental, assimilables aux piles au mercure[59].

Notons que les accumulateurs Ni-Cd de type industriel, dont la consommation est réduite comparativement aux accumulateurs d'utilisation domestique, sont récupérés presque en totalité en Europe[37]. Les fabricants reprennent généralement ce type d'accumulateurs et les acheminent à un centre de traitement ou à un lieu d'enfouissement contrôlé; la cathode étant vendue pour son contenu de nickel, et l'anode, pour son contenu de cadmium.

Tableau 23 Taux de collecte des piles HgO dans certains pays [41,42,61]

Pays	Taux de collecte		Année
	Piles HgO (%)	Autres types (%)	
Suisse	80		1987
Danemark	40-65		1982
Suède	50		1982
RFA	41		1983
Royaume-Uni	33		1983
Pays-Bas	30	3[1]	1986
Japon	27	9[2]	1986

1 Provinces du Sud
2 Piles boutons de tous types

Tableau 24 Installations de traitement des piles usées à l'étranger

Pays	Trait. des piles HgO	Trait. des piles Ag_2O	Trait. des piles alc. et autres	Trait. des accum. Ni-Cd
Suisse			o	
France	x			x
Suède			o	x
RFA			o	
Autriche			x	
Pays-Bas			o	
Royaume-Uni		x		
Belgique				o
États-Unis	x			
Japon			x	
Canada			o	

x Installations existantes
o Installations envisagées

Les anodes d'accumulateurs au nickel-cadmium usagés sont acheminées aux deux seuls centres de traitement de cadmium en Europe de l'Ouest, soit la Société nationale d'affinage des métaux (SNAM) en France et le centre de la Société Sab Nife en Suède[18]. Soulignons que la présence du nickel dans les accumulateurs usagés est l'intérêt principal des usines de traitement de cadmium[18].

La quantité de cadmium contenue dans les accumulateurs usés des pays membres de la CEE pourrait représenter 1 000 tonnes en 1990 et augmenter de 5 % par année, ce qui représenterait 1 850 tonnes de cadmium en l'an 2000[18].

Le taux de collecte se définit généralement comme suit[41] :

$$\frac{\text{Quantité de piles collectées en une année}}{\text{Quantité de piles consommées l'année précédente}} \times 100$$

Le résultat de collecte des piles usées dépend de trois facteurs essentiels :

- l'existence d'un réseau de collecte des piles usées;
- l'information et la sensibilisation du public;
- l'instruction des détaillants.

Les taux de collecte des piles boutons au mercure varient de 30 % à 80 %. La Suisse possède le plus haut taux de collecte, avec plus de 80 % des piles HgO récupérées en 1984[60], comme le révèle le tableau 23.

6.2.1 Traitement industriel des piles collectées

Le recyclage des piles usées comporte le traitement et la réutilisation des matières secondaires qui y sont contenues[37]. Très peu d'installations de traitement des piles usées existent actuellement à l'étranger. La majorité des piles collectées sont généralement acheminées à un lieu d'enfouissement contrôlé.

Plusieurs conditions doivent être satisfaites pour que le traitement des piles soit avantageux. Parmi les facteurs importants, mentionnons :

- un approvisionnement constant de piles à recycler;
- une haute concentration de matériaux à récupérer;
- une technologie efficace;
- une réutilisation des matériaux secondaires;
- une valeur intéressante des matériaux récupérés.

Les plus importantes nécessités préalables dans l'accomplissement d'une installation de traitement des piles usées, mis à part la technologie, sont les clauses ou stipulations juridiques concernant l'élimination des piles ainsi que l'approvisionnement constant de piles usées[40]. Les problèmes de la récupération des piles sont la maîtrise insuffisante de l'approvisionnement et le prix de revient des matériaux récupérés qui doivent entrer en concurrence avec les matières premières «vierges».

Les objectifs des usines de récupération des piles usées sont prioritairement le traitement adéquat du mercure et du cadmium contenus et l'examen des possibilités économiques de l'extraction des autres métaux contenus dans ces piles[18].

Parmi les métaux valorisables non toxiques contenus dans les piles en grande quantité, citons le fer, le zinc et le manganèse. Étant composées de plusieurs matériaux, les piles exigent un traitement dispendieux et complexe pour en extraire les éléments recyclables[37]. La récupération du mercure et du cadmium, comme celle du plomb, entraîne souvent des risques de pollution. Les

Tableau 25 Programmes de collecte des piles usées à l'étranger

Pays	Programme de collecte piles HgO existant	Programme de collecte piles alcal. existant	Mesures législatives prévues ou en vigueur	Usine de traitement existante ou prévue
Suisse	x	x	x[1]	x[5]
Danemark	x	x		
Suède	x			x[6]
RFA	x	x[2]		
Royaume-Uni	x			
Pays-Bas	x	x	x[4]	x[5]
Autriche	x	x		x
Belgique	x			
France	x			x[6]
Italie	x[2]	x[2]	x[3]	
Japon	x[7]	x[8]		x[5]
États-Unis	x[10]	x[11]		x[9]
Canada				x[12]

1 Mesures législatives envisagées dans un proche avenir
2 Collecte régionale
3 Mesures législatives municipales de «Reggio Emilia»
4 Code de conduite
5 Traitement des piles sèches seulement (alcalines, charbon-Zn, etc.)
6 Traitement des piles rechargeables au nickel-cadmium
7 Collecte organisée dans la ville de New York
8 Collecte organisée dans le comté de Windsor, VT et Sullivan, NH
9 Mercury Refining Ltd., Albany, New York (mercure et argent)
10 Toronto par l'entremise du Toronto Recycling Action Committee (TRAC)
11 Toronto par l'entremise du Toronto Recycling Action Committee (TRAC)
12 Hevmett Recovery Ltd., Port Colborne (Ontario) (procédé Voest-Alpine)

Tableau 26 Pourcentage de matériaux métalliques contenu dans les piles et accumulateurs domestiques[22]

Type de pile	Pb	Ni	Cd	Zn	Mn	Ag	Hg
Accum. plomb	65						
Accum. Ni-Cd		20	15				
Zn/MnO_2 acide				15	30		0,01
alcaline				15	25		0,5-1
Zn/Ag_2O				10		30	1
Zn/HgO				10			30
Zn/O_2				30			1

installations doivent, par conséquent, être conformes aux normes environnementales particulièrement strictes lorsqu'il s'agit du mercure et du cadmium.

Le traitement optimal des piles boutons est le recyclage. Celles-ci subissent tout d'abord un traitement de concassage pour en extraire le mercure par évaporation et condensation (distillation). Le métal récupéré peut alors être réutilisé comme matière première. L'activité de traitement des piles boutons au mercure dure environ 24 heures, et le mercure est généralement purifié chimiquement par distillation à 99,9 %.

Les piles à l'oxyde d'argent subissent le même traitement que celles au mercure. Une étape supplémentaire, par contre, permet de récupérer l'oxyde d'argent. Celui-ci, transformé en argent, est également réutilisé comme matière première.

Le traitement optimal des piles alcalines consiste en la séparation des polluants, la réutilisation des composants qui s'y prêtent, la solidification des résidus et, finalement, l'élimination des résidus[59].

Le tri des piles collectées nécessite un procédé approprié pour les répartir en trois groupes : matières recyclables, matières incinérables et résidus pouvant être éliminés. Généralement, le tri s'effectue manuellement et est facilité par le marquage des piles boutons à l'oxyde de mercure. Il est essentiel de séparer les piles à l'oxyde de mercure des piles ordinaires pour que le traitement soit rentable.

Un tri automatique efficace des piles collectées n'a pas encore été mis au point. Une technique de reconnaissance par rayons X, par contre, a démontré des résultats prometteurs[18]. L'organisme de recherche néerlandais TNO expérimente des procédés pouvant traiter, en même temps, tous les types de piles de petites dimensions une fois broyées.

Le tri des piles s'impose lorsque la proportion des piles rechargeables au nickel-cadmium excède 1 %. La présence de piles au nickel-cadmium gêne la récupération des piles au mercure, le cadmium étant un contaminant du mercure. C'est pourquoi il est nécessaire de les trier. Le procédé de récupération des piles cylindriques est onéreux lorsque les piles rechargeables au nickel-cadmium s'y trouvent. Ces piles doivent donc être soigneusement séparées et acheminées à une installation spécialisée dans la récupération du cadmium. L'obstacle majeur du recyclage des piles rechargeables au nickel-cadmium est l'absence d'un marquage universel d'identification sur les piles[18]. L'effet résultant de la présence de piles au lithium est encore inconnu[23].

En aucun cas, les piles au mercure ne doivent faire partie du lot de piles au nickel-cadmium à traiter. La présence de 1 % de mercure peut aussi causer de grandes difficultés et augmenter considérablement les coûts de procédés[37].

Même si la technologie de récupération des piles existe, sa rentabilité demeure controversée[22]. En effet, son application n'est profitable que si le prix des métaux est suffisamment élevé. Ainsi, les quantités limitées de matériaux, le prix peu élevé des matériaux, la «multitude» de matériaux contenus dans les piles à traiter sont des obstacles au développement de nouvelles installations.

Il est actuellement impossible de recycler les piles charbon-zinc et alcalines dans de bonnes conditions économiques si on considère la faible quantité de mercure présente dans les lots à traiter. Parmi les facteurs influençant l'implantation de nouvelles installations de traitement, mentionnons :

- la teneur décroissante en mercure dans les piles alcalines dans certains pays ayant imposé des restrictions aux fabricants et aux importateurs;

- la faible valeur des autres matériaux contenus dans les piles;
- la nécessité d'utiliser des procédés très perfectionnés et dispendieux pour séparer et purifier les matériaux de peu de valeur, dont la composition peut subir de constantes modifications en raison de nouvelles techniques (p. ex., l'introduction de l'indium);
- la valeur décroissante du mercure et les coûts grandissants de l'énergie;
- les mesures de sécurité très strictes entraînant la non-rentabilité du traitement des piles au mercure;
- la présence de plus en plus importante de piles zinc-air et lithium dans le lot à traiter.

Les sections suivantes décrivent les programmes de collecte des piles usées de différents pays.

6.2.2 Suisse

La Suisse est fréquemment citée en exemple, particulièrement lorsqu'il s'agit de la protection de l'environnement et de la valorisation des ordures ménagères. Ce pays fut le premier à proposer un programme de collecte visant les piles usées. En effet, depuis plusieurs années, les piles électriques constituant une catégorie de déchets spéciaux font l'objet d'une collecte sélective et d'une élimination appropriée (recyclage ou élimination contrôlée).

La firme suisse Leclanché S.A., important fabricant de piles, fut la première à mettre en oeuvre, en 1971, un programme de collecte et de récupération des piles usées, qui, à l'époque, ne concernait que les piles à l'oxyde de mercure[62]. Le consommateur était alors incité à rapporter les piles après usage grâce à une indication sur l'emballage de la pile. Depuis quelques années, la firme suisse invite les utilisateurs de piles au mercure et alcalines à rapporter leurs piles à l'usine d'Yverdon ou à l'un des 13 dépôts prévus par la compagnie[63]. La Division des toxiques de l'Office fédéral de la santé publique avait lancé le premier programme de collecte officiel des piles au mercure. Après l'entrée en vigueur de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement, toutes ces activités ont été reprises par l'OFPE. Tous les fabricants, les importateurs et les distributeurs de piles ont aussi été appelés à participer au programme et à assumer les coûts de la publicité[63]. Le matériel d'information et les récipients collecteurs ont été conçus et achetés en commun par les différents fabricants. Notons que le système de collecte des piles usées en Suisse est en partie confié à la branche industrielle (détaillant, producteurs et importateurs de piles) selon le principe du pollueur-payeur.

Les cantons veillent également à l'application de la publicité qui encourage la collecte des piles alcalines et des piles boutons de tous types. Ainsi, toutes les piles usées peuvent être rapportées au magasin ou dans les récipients prévus à cet effet. L'armée suisse achemine elle-même ses piles usées (environ 200 tonnes de piles par année) à des lieux d'enfouissement à l'étranger[10].

La Suisse possède actuellement la plus haute cote de récupération des piles au mercure, avec plus de 80 % d'efficacité[61]. Les piles au mercure, une fois collectées, étaient initialement acheminées à l'installation de traitement de la Société allemande Dégussa (Elwenn & Frankenbach Gmbh) à Frankfurt[64]. Mais, par suite de l'arrêt récent des activités «mercure» de la Société en juin 1987[65], les piles HgO sont stockées et exportées vers des lieux d'élimination spéciaux en Espagne (mines d'Almaden) et en République démocratique allemande (RDA).

La Suisse fait face, depuis 1982, au problème des piles alcalines, qui sont responsables d'une quantité de mercure dans les ordures évaluée à environ 10 fois celle provenant des piles HgO[64]. Les régions de Zurich et de Lausanne furent les premières à collecter les piles cylindriques (alcalines et autres). En dépit des types de piles particulièrement visés

Tableau 27 Taux de récupération des piles HgO en Suisse

Année	Taux de récupération (%)	Quantité de piles HgO récupérées (t)	Taux de collecte des autres types de piles (%)
1975		1,8	
1983	80	9,6 (E42)	~ 25-30

par le programme de collecte suisse, toutes les piles usées peuvent être rapportées aux points de vente, afin de faciliter la tâche au consommateur.

La législation suisse en vigueur est actuellement la plus sévère en ce qui concerne les piles domestiques[10]. En effet, l'utilisation du mercure est strictement réglementée. Les dispositions prises par les autorités font partie d'une série de mesures visant à réduire la pollution de l'environnement par le mercure et le cadmium. L'objectif de la Confédération tend à réduire à une tonne la quantité de mercure tolérable dans les déchets ménagers[10]. On différencie donc les piles nuisibles des autres qui le sont moins. Les autorités considèrent les piles comme polluantes ou «fort nuisibles» lorsque leur teneur en mercure ou en cadmium excède au total 250 mg par kg de piles[66]. Ainsi, depuis septembre 1987, à la suite de l'adoption de nouvelles lois, toutes les piles contenant plus de 250 g de mercure ou de cadmium par kg de piles ne peuvent être importées en Suisse ou être remises par un fabricant. Quant aux objets jetables munis de piles, ils ont pu se vendre au pays jusqu'au 31 août 1988.

La réglementation sur les piles nécessite la coopération des fabricants et des importateurs, des commerçants et des consommateurs. La nouvelle loi incite les fabricants et les importateurs à réduire la quantité de mercure et de cadmium contenue dans les piles, à déterminer clairement les piles ayant une teneur en mercure et en cadmium supérieure à celle recommandée, ainsi qu'à collecter et à éliminer adéquatement les piles non conformes à la réglementation[25]. Les fabricants et les importateurs devront recycler ou éliminer leurs produits et ceux des autres[10] et seront également tenus de révéler la quantité de piles produites ou importées, ainsi que leur teneur en cadmium et en mercure[67].

L'OFPE prévoit prélever, au stade de la fabrication ou de l'importation, une taxe par tonne de piles pour couvrir le coût de traitement des piles usées[67]. Il en résulte que le consommateur pourrait payer sa pile de 3 à 5 centimes plus cher[10].

L'Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement (OSD) de l'OFPE, entrée en vigueur en 1986, comporte une clause sur les piles contenant du mercure et du cadmium. Cette clause, qui renferme une distinction entre piles peu et très dangereuses, oblige le commerçant à reprendre les piles usées et le consommateur à les lui rapporter.

On retrouve en annexe de l'OSD une restriction nécessitant l'étiquetage avec pictogramme des piles polluantes, qui doit indiquer que le produit ne doit pas être jeté à la poubelle, mais déposé dans un centre de traitement approprié[68]. Le pictogramme proposé devra figurer sur les piles boutons polluantes. Le consommateur suisse a l'obligation de confier ses piles usées pourvues de ce pictogramme à une collecte sélective[67], à un point de vente ou à un poste de réception des toxiques. Depuis le

31 août 1987, il est interdit d'importer en Suisse des piles dites dangereuses n'arborant pas le pictogramme recommandé[28].

Les fabricants de piles et les commerçants ont aussi l'obligation de reprendre gratuitement toutes les piles usées. Il est également recommandé au détaillant de trier ses piles en trois catégories : piles boutons, piles rechargeables au nickel-cadmium et autres.

Les fabricants qui ne recyclent pas les piles usées sont tenus de les éliminer conformément aux prescriptions sur les déchets dangeureux[69]. Quant aux fabricants d'objets à piles non interchangeables, ils devront les munir de piles non polluantes[67]. Les détaillants de piles ou d'objets qui en sont munis doivent afficher visiblement leur participation, afin d'inciter les consommateurs de piles «nuisibles» à les rapporter.

Les piles alcalines doivent avoir un contenu de mercure ne dépassant pas la technologie disponible. La valeur limite absolue de mercure est exprimée en g par kg de zinc. Ainsi, des limites de 20 g sont valables depuis le 1er janvier 1988 et ont été fixées à 10 g dès le 1er janvier 1990[66].

Les commerçants, les producteurs et les importateurs de piles nuisibles ont le devoir d'éliminer les piles selon les prescriptions techniques de la Confédération. Ils doivent aviser l'OFPE des quantités de piles et de leurs taux de cadmium et de mercure[66]. Selon l'Ordonnance sur le mouvement des déchets spéciaux (ODS), en vigueur depuis avril 1987, le remettant est tenu de notifier par écrit l'OFPE de toute exportation de piles usées[70]. Les entreprises qui recyclent ou éliminent les piles polluantes ou en exportent ont l'obligation d'informer annuellement l'OFPE des quantités de piles prises en charge[67].

Les grands distributeurs de piles fournissent généralement les récipients conteneurs de piles usées. La coopérative suisse Migros, une chaîne de magasins très importante depuis 1982, distribue plus de 100 000 récipients de collecte en carton à deux dimensions (piles boutons et autres piles) chaque année. La coopérative vend environ 20 millions de piles par année, ce qui représente le quart de la consommation totale en Suisse. Les boîtes de collecte sont généralement installées à des endroits stratégiques dans les succursales. Le système Migros se résume comme suit : consommateur → détaillant Migros → centre d'entreposage passager → entreprise exportant les piles → étranger (République démocratique allemande (RDA), France, Espagne)[58]. Des 1 800 tonnes de piles vendues par la coopérative en 1987, 400 tonnes de piles ont été rapportées par les consommateurs[71].

Une partie des piles charbon-zinc et alcalines récupérées était jusqu'en 1985 éliminée au lieu d'enfouissement de Kolliken dans le canton d'Argovie[53] qui, pour des raisons étrangères aux piles, a fermé. Depuis ce temps, les piles cylindriques (charbon-zinc et alcalines) sont exportées vers des lieux d'enfouissement contrôlés en France et en Allemagne de l'Est.

Quant aux piles rechargeables au nickel-cadmium, elles sont acheminées à l'installation de recyclage de cadmium de la SNAM, en France, ou éliminées en Allemagne de l'Est.

L'entreposage temporaire et l'exportation sont les seules voies actuelles d'élimination des piles usées. Comme la Suisse ne dispose d'aucun moyen d'éliminer les piles alcalines et ne possède aucune installation de traitement des piles usées, l'OFPE a mandaté en 1986 (500 000 FS) la mise au point d'un processus de traitement physico-chimique des piles sèches usées (charbon-zinc et alcalines)[72]. Le développement du procédé, projeté par l'OFPE et la coopérative Migros, a été confié à trois firmes d'ingénieurs de la région zurichoise (Études d'ingénieurs civils (EIC), ORFA Umweltechnik AG et l'AFIF affiliée à l'École polytechnique fédérale de Zurich ETZ)[73]. Les trois firmes ont élaboré

P I L E S : Tableau des mesures imposées par l'Ordonnance sur les substances dangereuses

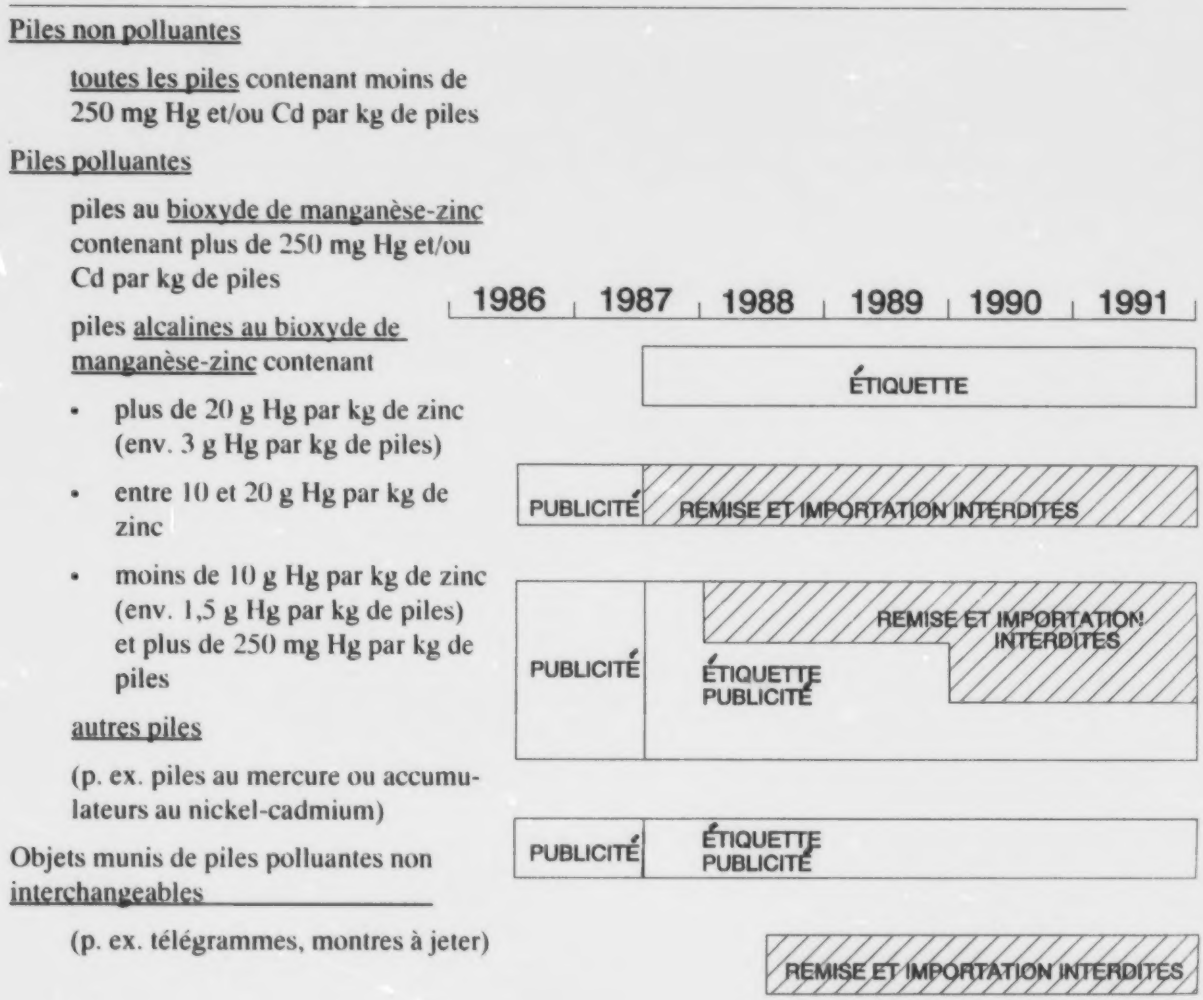


Figure 11 Mesures imposées par l'Ordonnance sur les substances dangereuses (OSD, OFPE)[67]

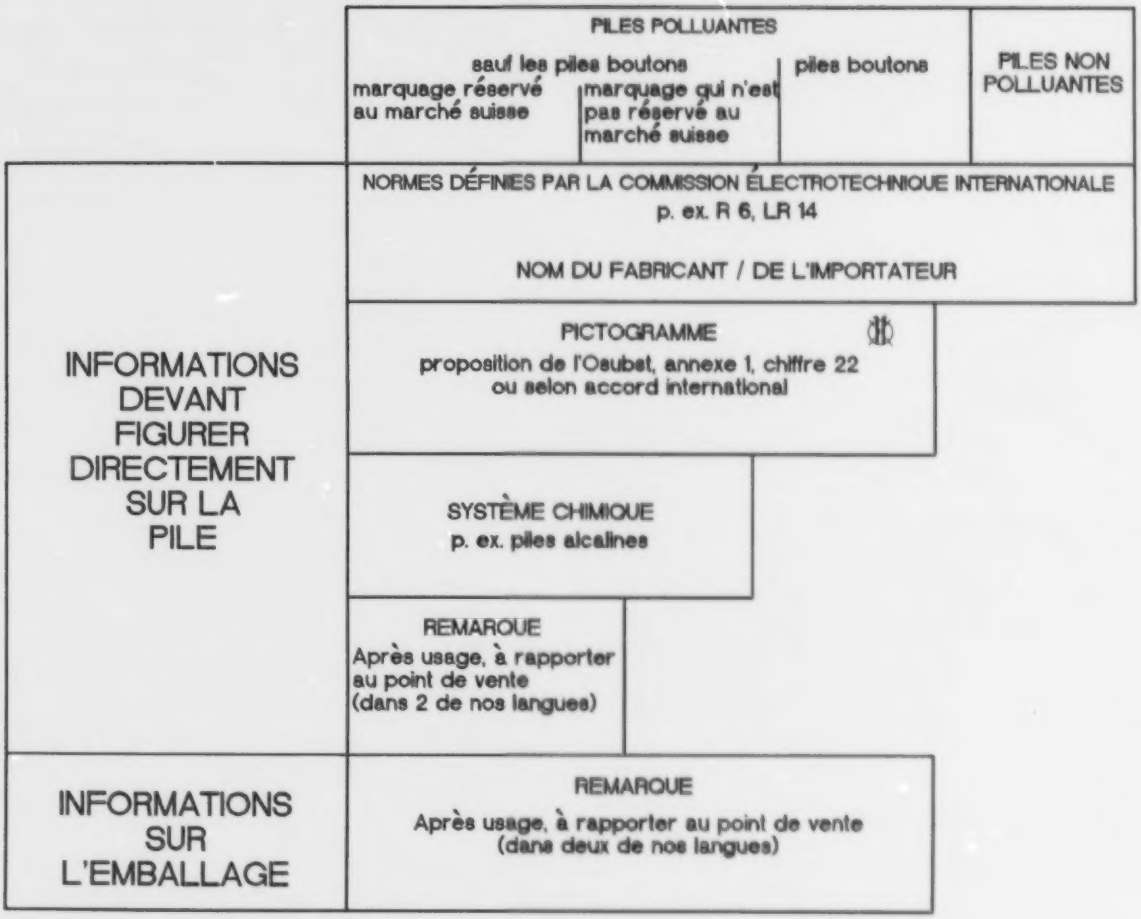


Figure 12 **Étiquetage des piles en Suisse**

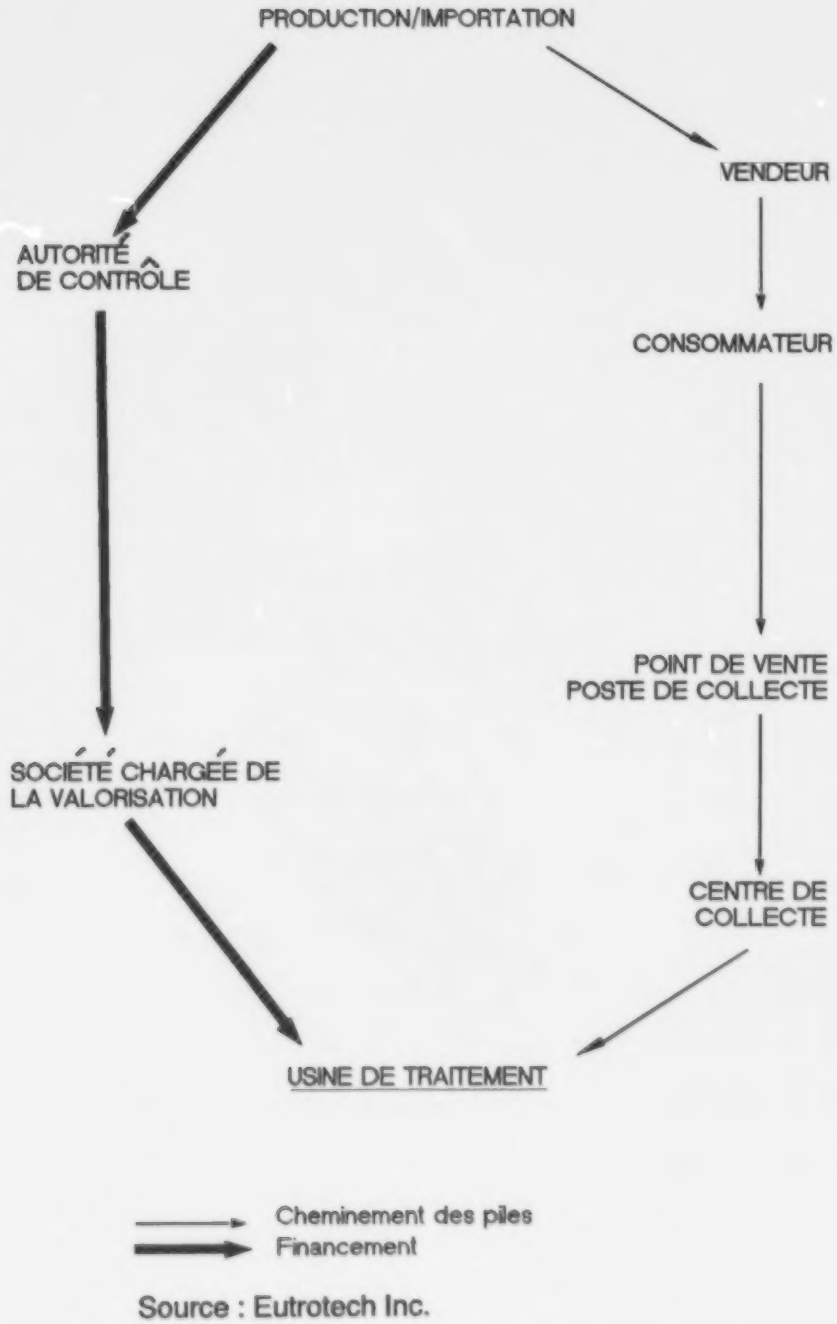


Figure 13 Financement par prélèvement d'une taxe préalable

la mise au point du processus de traitement breveté installé en laboratoire.

Le procédé est efficace pour récupérer le mercure et autres matériaux, principalement des piles alcalines et charbon-zinc, et il comporte :

- le broyage mécanique des piles usées non triées;
- la séparation de la partie grossière et fine par lavage et tamisage;
- l'extraction de papiers/plastiques de la partie grossière à l'aide d'un séparateur à densité;
- la séparation magnétique de la partie grossière en métaux ferreux et non ferreux (zinc, cuivre);
- le lessivage de la partie fine avec de l'eau pour entraver les composés solubles;
- le traitement thermique de la partie fine pour récupérer le mercure;
- la séparation de composés de manganèse et de zinc des résidus.

Le traitement d'une tonne de piles riches en matières premières devrait générer environ 270 kg de bioxyde de manganèse, 210 kg de fer, 160 kg de zinc, 20 kg de cuivre et 2 kg de mercure[74]. L'usine pilote qui avait été prévue pour 1988 aurait dû être en mesure de traiter environ 500 tonnes de piles par année[72,75]. Elle aurait été construite à l'emplacement de l'incinérateur municipal de Zurich[72]. Quant à l'usine finale, dont la date d'entrée en service avait été prévue pour 1989-1990, elle traiterait environ 20 tonnes de piles quotidiennement[10].

Les travaux réalisés jusqu'ici font ressortir que la diffusion des produits recyclés (composés du zinc et du manganèse) sur le marché de la récupération serait très difficile. L'implantation d'une usine de traitement des piles ne peut pas être rentable. En Suisse, il est donc prévu d'assurer le financement du traitement par le biais d'une taxe d'élimination qui sera prélevée directement de l'importateur ou du fabricant de piles. Cette taxe doit permettre de couvrir la totalité des coûts du traitement, y compris la récupération et le transport[76].

Une autre firme suisse, Recytec SA de Morges, est également propriétaire d'un procédé de traitement breveté depuis septembre 1987 (procédé élaboré par Deco-Hanulik). Une installation pilote de recyclage, qui existe à Genève, pourrait éventuellement traiter 200 kg par jour de piles usées non triées incluant les accumulateurs nickel-cadmium. L'objectif d'une tonne de piles par jour devrait être atteint sous peu, mais la quantité optimale des piles à traiter reste à évaluer[77].

6.2.3 Pays-Bas

Les autorités néerlandaises accordent un intérêt particulier aux PQDD, estimées à 100 000 tonnes par année et non collectées pour la plupart[41]. Plus de 21 produits domestiques se retrouvent sur la liste des PQDD, et les piles électriques se rangent en neuvième position. De ce fait, des mesures législatives se rattachant à la Loi sur les déchets chimiques seront adoptées sous peu et porteront sur la collecte et l'élimination des PQDD.

Selon le ministère de l'Habitat, de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (VROM), la présence de métaux lourds dans les piles prescrit une collecte et une élimination appropriées des piles usées puisque le mercure et le cadmium se trouvent sur la liste noire des substances[51]. Le zinc apparaît sur la liste «grise»[41]. Un des objectifs du projet «petits déchets chimiques», mené par le VROM, est de définir les caractéristiques d'une collecte efficace des PQDD.

Les piles boutons au mercure font déjà l'objet d'une collecte sélective depuis plusieurs années aux Pays-Bas, et le taux de

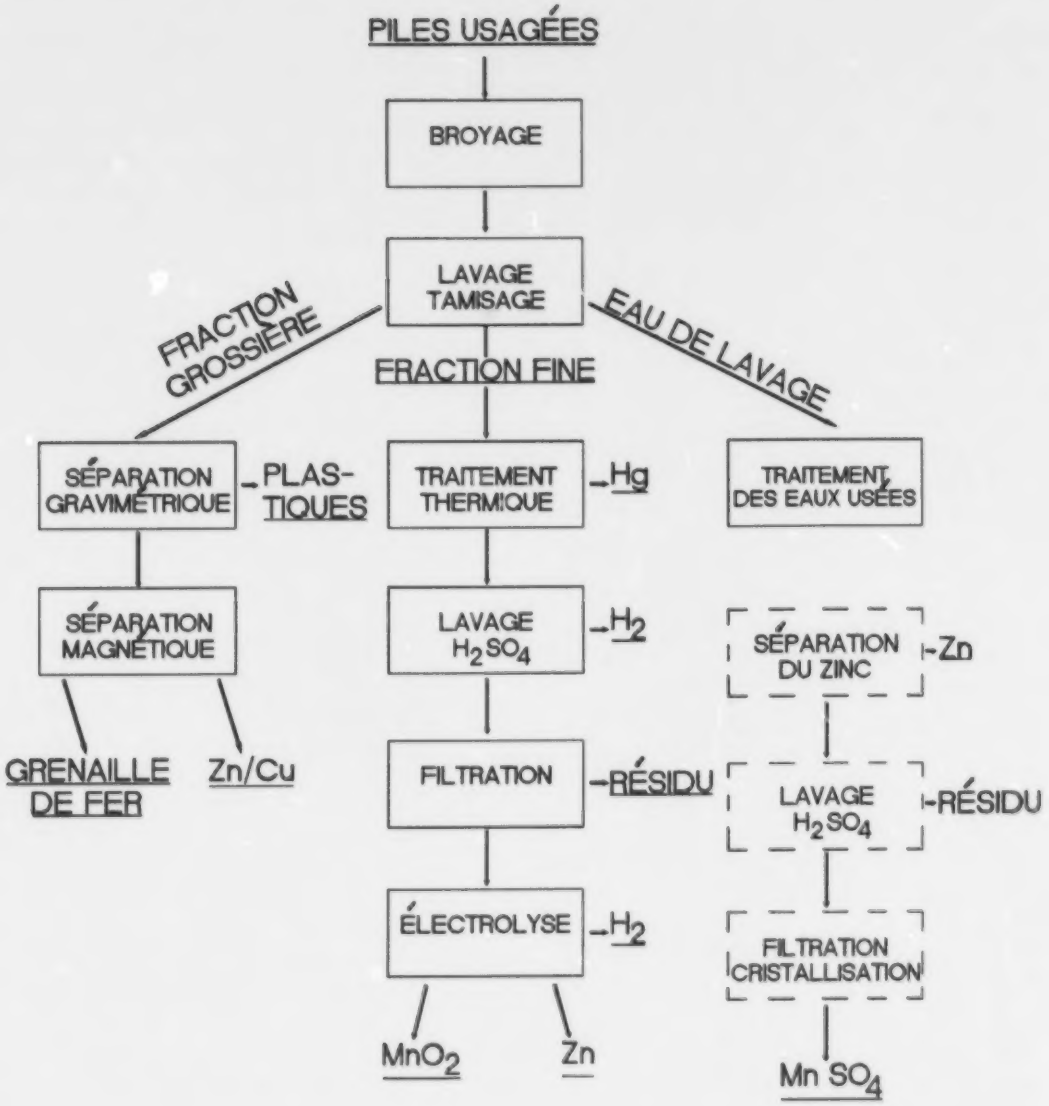


Figure 14 **Déroulement du procédé de recyclage des piles sèches usées de l'usine pilote prévue à Zurich[74]**

récupération atteignait 30 % en 1986[41]. Depuis 1985, le VROM utilise un code de pratique pour arriver à ses fins, dans le cadre du programme de collecte des piles usées[78]. Le code de pratique incite donc les fabricants de piles à encourager l'utilisation des piles zinc-air pour les prothèses auditives[37]. Le programme de substitution devrait d'ici les cinq prochaines années encourager la totalité de l'utilisation des piles zinc-air pour les prothèses auditives et décourager leur utilisation à d'autres applications. Un nouveau code de conduite concerne les piles alcalines et suggère la réduction de la quantité de mercure contenue aux teneurs proposées par la CEE et Europile (de 1 % à 0,15 % de Hg d'ici à 1990 pour les piles alcalines)[78]. Cette réduction de mercure contenu dans les

piles devrait abaisser considérablement la quantité de mercure per capita provenant des piles.

Le problème des piles rechargeables au nickel-cadmium s'ajoute aux préoccupations du VROM, car leur consommation augmente constamment. La quantité de cadmium libérée par cette source d'utilisation représente de 20 % à 30 % environ (35-50 tonnes) de la quantité totale de cadmium libérée dans l'environnement si l'on tient compte des restrictions imposées aux autres secteurs d'utilisation[79,80].

Le VROM, avec la collaboration d'une association de fabricants de piles (NEFIBAT) et de la firme Battrex B.V. (important distributeur de piles électriques aux Pays-Bas), expérimente, depuis 1984, un système de collecte des piles usées dans les provinces du Sud (on y retrouve deux villes d'importance, notammment La Haye et Rotterdam). Les autorités financent en partie la firme Battrex pour la collecte des piles usées par l'entremise de son réseau de distribution. Plus de 800 récipients collecteurs conçus à cette fin (aux couleurs de la compagnie) ont ainsi été déposés à 700 endroits stratégiques (détaillants et édifices publics) de la région concernée (figure 15)[41]. La firme effectue la collecte des piles usées en reprenant les récipients remplis, lors de chaque livraison de routine. Les piles sont par la suite stockées à l'entrepôt de la compagnie (Delft) pour être éventuellement éliminées ou recyclées à l'étranger. Comme l'installation de traitement des piles usées prévue par les autorités n'est qu'à l'étape de conception, et que les piles au mercure ne peuvent plus être recyclées à l'usine Elwenn & Frankenbach Gmbh (Frankfurt) depuis juin 1987, la compagnie fait face à certains problèmes d'entreposage des piles. Les piles rechargeables au nickel-cadmium sont acheminées à l'usine de traitement de la SNAM en France. Les autres types de piles sont envoyés dans un lieu d'élimination contrôlé en Allemagne de l'Ouest[78], en l'absence d'installation opérationnelle en Europe. Le coût relatif du traitement des piles usées est très élevé et varie selon la méthode de collecte utilisée[80].

Le taux de récupération du programme expérimental de collecte des piles était évalué à 3 % en 1986 et devrait subséquemment atteindre 33 % à la suite de la diffusion d'information[41]. Notons que les bénéfices réalisés par la firme Battrex sont difficilement quantifiables, car ils tiennent de son image de marque.

On observe plusieurs types de collecte indépendants aux Pays-Bas. Certaines chaînes de détaillants (spécialisés en photographie, p. ex. Foto-Quelle) prennent part au programme de collecte sélective des piles usées en organisant leur propre système. Le coût du traitement des piles usées se paie automatiquement, à la suite d'une hausse imperceptible du prix des piles. Une somme de 0,25 Fl est généralement remise pour chaque pile rapportée, ce qui encourage la participation des clients.

Les autorités dirigent également des travaux sur le développement d'un traitement chimique des piles usées, projet élaboré par la Division de technologie de la société de recherche néerlandaise TNO (Netherlands Organization for Applied Scientific Research) et le Département d'ingénierie de l'Université de Twente. Le projet de recherche d'environ 1 000 000 Fl[78] s'intéresse à une nouvelle technique de tri mécanique et de revalorisation des piles usées pour en extraire principalement le mercure et le zinc. La commercialisation future de l'installation et l'amélioration de la technique de déchiquetage sont confiées à la firme suédoise Leto[80]. Notons que 55 % des piles utilisées aux Pays-Bas sont de type charbon-zinc, 26 %, des piles alcalines, 2 %, HgO, 2 %, Ag_2O (1985) et que du reste (15 %), 75 % sont des piles rechargeables de type Ni-Cd[41].

La société TNO expérimente actuellement un procédé de traitement de piles mélangées, contenant environ de 1 % à 2 % de piles

Figure 15 **Récipient collecteur de piles usées de la firme Battrex (Pays-Bas)**[80]

rechargeables au nickel-cadmium. Un tri devra précéder le traitement, et les piles rechargeables au nickel-cadmium seront ultérieurement traitées en France ou en Suède.

La méthode de traitement des piles usées proposée par les Pays-Bas consiste à broyer les piles (alcalines et charbon-zinc) et à séparer la partie fine (contenant charbon, zinc, mercure et manganèse) de la partie grossière. Le mercure est ensuite séparé de la partie fine et se retrouve, après un traitement thermique, dans le résidu possédant une concentration de 200 mg de mercure par kg[81]. Il est aussi possible d'extraire le mercure de la partie fine par des méthodes non thermiques. Les autres matériaux contenus en petites quantités, comme les composants métalliques ou brûlés, tels les cartons, papiers ou plastiques, peuvent être recyclés.

Vu l'efficacité de la séparation du mercure et des coûts d'investissement prévus, la TNO a décidé de soumettre un procédé de traitement basé sur une séparation non thermique du mercure. Ce procédé consiste à broyer le mélange avant le traitement et à extraire le contenu métallique. L'usine prévue par le VROM aurait une capacité de traitement de 5 000 tonnes par année. Le coût d'une telle usine ainsi que le prix relativement bas des métaux lourds sur le marché rendent cette solution inacceptable pour le moment.

6.2.4 France

La France récupère les piles boutons à l'oxyde de mercure depuis plus de 10 ans. La lutte contre la pollution mercurielle demeure un objectif essentiel pour les organisateurs des programmes de collecte des piles HgO usées, même si leur utilisation diminue progressivement. La consommation des piles HgO en France s'élève actuellement à environ 20 tonnes par année, soit 7 tonnes de mercure par année[82]. La récupération s'effectue toujours à l'échelle nationale avec la participation des détaillants spécialisés[42].

L'Agence nationale de la récupération et de l'élimination des déchets (ANRED), un établissement public sous la tutelle gouvernementale, a mis sur pied en 1978 la formation de l'Association pour la récupération des piles boutons (ARPB) regroupant neuf membres : l'ANRED et huit fabricants et distributeurs de piles boutons. L'organisme à but non lucratif a donc mis en oeuvre un programme de collecte des piles boutons par voie postale. Les détaillants ont reçu des boîtes spécialement conçues pour que les consommateurs, informés par la presse, viennent y déposer leurs piles usées. Une fois remplies (environ 1 kg), les boîtes de collecte devaient être réexpédiées aux frais de l'ARPB.

La collecte des piles boutons a permis la récupération et le traitement de quelques tonnes de piles au mercure par année. Le faible résultat obtenu au début des opérations, ainsi que l'absence quasi totale de piles à l'oxyde d'argent dans les boîtes de collecte ont entraîné pour l'ARPB des coûts de traitement élevés. Des entrepreneurs privés

Tableau 28 Consommation des piles boutons en France [42]

Année	% (cm)			Poids total des piles boutons de tous systèmes (t)
	Piles HgO	Piles Ag_2O	Autres	
1980	45	54	1	36
1981	38	58	4	42
1982	31	64	5	44

intéressés seulement aux piles à l'oxyde d'argent achètent régulièrement des piles usées des détaillants, ce qui nuit à l'autofinancement du programme. Il existe effectivement des classeurs différents pour le traitement et la valorisation des piles boutons au mercure et des piles à l'oxyde d'argent. Le traitement et la valorisation des piles à l'argent sont réalisés en Angleterre par les sociétés Johnson Mathey et Engelhard[65].

Le taux de récupération, correspondant à la quantité de piles au mercure collectées par rapport à celle de piles vendues l'année précédente, a atteint 78 % en 1983, à la suite d'une campagne intensive d'information menée par l'ARPB et de la décision de l'ARPB de défrayer le port des boîtes de collecte. Avant cette période, le transport par voie postale devait être assumé par les détaillants. Des 15,7 tonnes de piles HgO collectées en 1983, six tonnes avaient été récupérées par des récupérateurs professionnels intéressés aux piles à l'oxyde d'argent[42].

Au terme de huit années de fonctionnement de l'ARPB, l'ANRED avait supporté plus de 80 % des frais (traitement et fonctionnement de l'Association)[82]. La dissolution de l'ARPB, en 1986, résulte du refus des autres membres d'envisager une répartition plus équitable des dépenses dans la perspective d'une augmentation du taux de collecte[82]. Depuis la dissolution de l'ARPB, les piles boutons au mercure sont stockées dans l'attente d'une solution industrielle de traitement[83].

L'ANRED a lancé, depuis septembre 1987, une nouvelle campagne de collecte des piles boutons en accord avec le ministère de l'Environnement et en collaboration avec la Croix-Rouge française (CRF). La collecte vise essentiellement les piles au mercure et à l'argent. La collaboration de l'ANRED avec un organisme humanitaire de renom devrait relancer la collecte des piles. Les bénéfices retirés du traitement des piles à l'oxyde d'argent devraient permettre le financement du traitement des piles au mercure, ainsi que les frais relatifs à la collecte. Le reliquat éventuel sera utilisé par la CRF à des fins humanitaires[65].

Les piles boutons collectées seront entreposées provisoirement par les comités locaux de la CRF. Le récupérateur, choisi par appel d'offres par l'ANRED, permettra essentiellement d'assurer un traitement approprié de la totalité des piles collectées. L'entrepreneur devra :

- reprendre les piles collectées par la CRF;

Tableau 29 Taux de collecte des piles boutons à l'oxyde de mercure en France[42]

Année	Piles HgO collectées (t)	Contenu Hg (t)	Taux de collecte privée + ARPB (%)
1979	2,8		17
1980	2,1		11
1981	2,1		9,5
1982	9,1	3,5	40,5
1983	15,7	5,9	78

- regrouper les piles collectées au niveau national;
- trier les piles par tamisage (Ag_2O, HgO, Ni-Cd, zinc-air, lithium);
- assurer le traitement des piles HgO;
- récupérer le prix de l'argent provenant du traitement des piles Ag_2O;
- assurer le traitement des piles au nickel-cadmium;
- stocker les piles au lithium.

Si le résultat est positif, l'ANRED récupérera une partie de sa mise de fonds et, dans le cas contraire, elle devra assumer financièrement les aléas de l'opération, liés aux proportions de piles à l'argent ainsi qu'au prix des métaux sur le marché[82]. L'objectif de l'opération ANRED-CRF est de récupérer près de 7 tonnes de mercure par année puisque 20 tonnes de piles boutons au mercure sont utilisées en France chaque année[56].

L'arrêt récent des activités pour lesquelles la firme allemande Elwenn & Frankenbach Gmbh utilisait du mercure a entraîné des problèmes d'élimination des piles au mercure partout en Europe. Ces piles ne sont actuellement pas traitées, mais stockées dans l'attente d'une solution industrielle de traitement[83], ou encore elles sont exportées vers les mines d'Almaden, en Espagne. Ces solutions ne sont pas satisfaisantes pour le moment, et il est clair que le lancement d'une collecte d'envergure nationale incitera les industriels français à accélérer la mise au point de leurs projets[65].

Les projets de création en France de centres de traitement de déchets mercuriels sont présentement à l'étude[56]. L'ANRED travaille actuellement à la création d'une unité de traitement des métaux précieux contenus dans les déchets de l'industrie électronique[83]. Les piles au mercure collectées seront acheminées à l'installation de traitement Duclos Environnement pour y être traitées[82].

Mentionnons que les installations de revalorisation du mercure en France se trouvent dans une situation financière précaire.

La Société Duclos Environnement, qui siège près de Marseille, offre un procédé de traitement mercuriel. Le procédé de l'extraction du mercure consiste en une distillation du mercure à vide, ce qui évite tout danger d'émanation dans le milieu environnant. Le procédé prend en considération le traitement des solides, des liquides et des gaz, et le traitement s'effectue entièrement à vide. Les types de déchets traités sont les piles boutons, les tubes fluorescents, les thermomètres, les amalgames dentaires, les déchets de l'industrie du chlore et les granules de charbon actif (Duclos Environnement, 1987). Par contre, le traitement des piles nécessite un prétraitement actuellement en développement.

Il n'existe présentement aucune loi obligeant la récupération des piles contenant du mercure en France. La collecte des piles alcalines est, par contre, suggérée à la collectivité. Aucune récupération de ce type de piles n'existe en France. La réduction de mercure prévue par la CEE n'incite pas les autorités à mettre en oeuvre des programmes visant à leur récupération. Les piles rechargeables au nickel-cadmium ne font l'objet d'aucun traitement même s'il existe une installation à Lyon. Les sources de cadmium de l'installation de la SNAM proviennent essentiellement de rejets de fabrication d'accumulateurs au Ni-Cd et de plaques négatives d'accumulateurs de type industriel usés et retournés aux distributeurs, dont le contenu en cadmium varie de 13 % à 25 %[18]. La SNAM s'intéresse particulièrement à la récupération du nickel (environ 25 % du poids total de l'accumulateur), dont la valeur assure la rentabilité du traitement.

L'usine de traitement de la SNAM est localisée près de Lyon et offre un traitement économiquement viable. Exploitée depuis

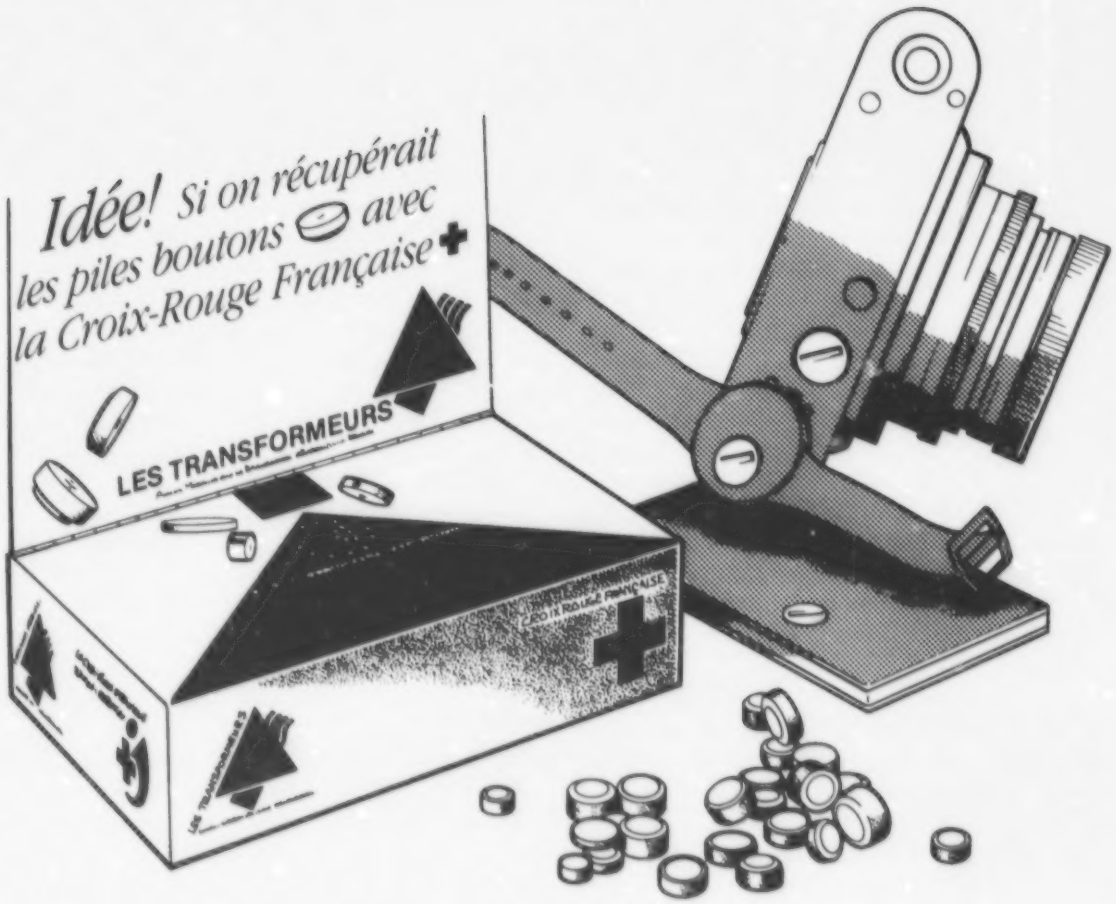


Figure 16 **Boîte de collecte des piles boutons en France, ANRED-CRF**[54]

Figure 17 **Autocollant publicitaire de l'ANRED-CRF**[56]

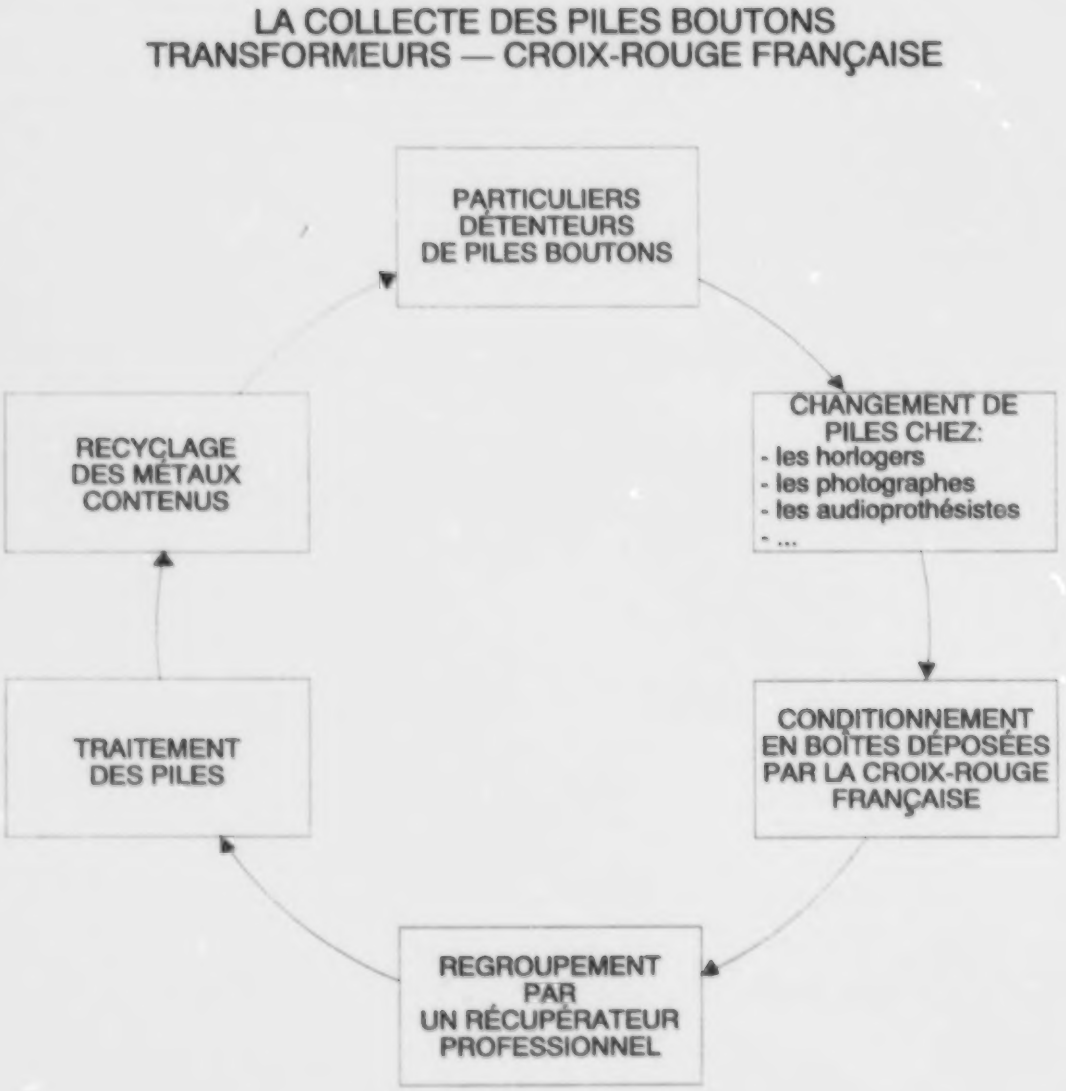


Figure 18 **Système de collecte de l'ANRED-CRF**[56]

1977, l'usine utilise une technologie de distillation qui lui est propre. À cette époque, le mercure était extrait des piles à l'oxyde d'argent, mais cette activité est discontinuée. La capacité de traitement de l'installation était de 700 tonnes d'accumulateurs nickel-cadmium utilisées par année en 1986 et devait passer à 1 000 tonnes par année en 1987[37]. L'expansion éventuelle de l'usine augmenterait la capacité de traitement à 2 000 tonnes d'accumulateurs utilisées par année.

Les activités de traitement de la SNAM ont la réputation d'être rentables. Les frais de traitement sont sujets à de fréquentes et importantes variations et dépendent de la quantité et de la nature des déchets cadmiferreux à traiter, dont les frais relatifs au transport sont assumés par l'envoyeur. Les coûts de transport doivent être déduits et varient selon la distance parcourue[18]. Le coût du traitement des piles rechargeables au nickel-cadmium de petites dimensions est plus élevé en raison des opérations additionnelles de pyrolyse des matières organiques. Par exemple, le traitement est de 0,38 $ US la livre pour les piles domestiques complètes, et de 0,34 $ US la livre pour les plaques négatives d'accumulateurs de type industriel[18]. Le cadmium produit possède au minimum 99,95 % de cadmium, et la pureté est souvent supérieure à 99,99 %. Les principales impuretés sont du nickel, du fer et du zinc. La SNAM fonctionne principalement comme «service de traitement». Les clients y envoient leurs piles usées, et un prix de traitement leur est fixé selon la nature des matériaux à traiter.

6.2.5 République fédérale d'Allemagne

La collecte des piles boutons s'effectue en RFA depuis 1976, et celle des autres piles, depuis 1982. Les piles primaires, particulièrement les piles alcalines, seraient responsables de la moitié des émissions de mercure provenant des incinérateurs municipaux[23]. La quantité de mercure contenue dans les piles primaires était évaluée à 61 tonnes en 1983, dont la quasi-totalité est attribuée à deux types de piles, soit 56 % aux piles alcalines et 41 % aux piles au mercure[42].

Plus de 75 % des piles consommées en RFA sont de type charbon-zinc (1986). Cette proportion tend à diminuer au profit des piles alcalines, dont la teneur en mercure est assujettie aux mesures de réduction proposées par la CEE. L'utilisation des piles au mercure diminue constammemt au profit des piles à l'oxyde d'argent et zinc-air[23]. La distribution d'utilisation des piles au mercure en 1983 se présentait comme suit :

- prothèses auditives : 50 %;
- photographie : 48 %;
- montres : 1 %;
- autres : 1 %.

Le taux de récupération des piles au mercure est constant depuis les cinq dernières années; il se situe aux environs de 40 %[23].

Les fabricants et importateurs de piles allemands s'engagent, depuis 1980, à fournir des récipients collecteurs de piles boutons aux détaillants spécialisés, à les reprendre par la poste (port payé) et à les acheminer à un centre de traitement (recyclage et élimination contrôlée). La valeur des métaux ainsi récupérés couvre les coûts relatifs à la collecte[42]. Les piles boutons Ni-Cd doivent cependant être séparées du lot de piles à traiter lorsque leur proportion excède 1 %[23].

L'industrie manufacturière des piles en RFA participe au programme national de collecte et de traitement des piles boutons[25]. Sur les instances de l'Agence fédérale de l'environnement, les fabricants de piles acceptent de reprendre leurs propres piles et accumulateurs usés qui leur sont retournés sans frais. Ceux-ci seront par la suite envoyés dans un lieu d'élimination spécial avec les rejets de fabrication estimés à 500 tonnes par année[23]. Les rejets de fabrication d'accumulateurs au nickel-cadmium subissent un traitement de recyclage à l'étranger (en

Tableau 30 Taux de récupération des piles HgO en RFA[23,42]

Année	Hg contenu dans les piles HgO (t)	Quant. de Hg récupérée (t)	Taux de récupération (%)
1981	20,1	9,3	46
1982	25,1	11,3	45
1983	22,9	9,5	41

France), ce qui représente plus de 350 tonnes de métaux récupérés chaque année[22].

La Loi sur la gestion des déchets (*Waste Disposal Act*) donne aux autorités fédérales le pouvoir d'exiger le dépôt et le marquage obligatoires des piles alcalines, au mercure et rechargeables au nickel-cadmium[23]. Depuis 1985, à la suite d'une entente intervenue en 1983 avec le ministère de l'Intérieur, les piles boutons au mercure fabriquées ou importées doivent être marquées du signe «+» encerclé sur la terminaison positive. Les piles boutons à l'oxyde d'argent, quant à elles, doivent être marquées du signe «+». Le marquage des piles boutons facilite leur identification et, par conséquent, le tri[42]. Le système de marquage proposé par les autorités et adopté par l'EIC (Comité international d'énergie) s'effectue actuellement à l'échelle internationale.

En plus de la réglementation des autorités fédérales, certaines municipalités possèdent leurs propres règlements et encouragent les consommateurs à déposer leurs piles usées de tous genres dans des récipents collecteurs conçus à cette fin. Ces municipalités proposent depuis 1982 une récupération des piles usées de toutes sortes, au moyen des réseaux de collecte sélective déjà existants où des contenants de 60 et 100 litres ainsi que de 25 litres fixés aux contenants de dépôt de verre sont installés. Les piles collectées sont éventuellement envoyées dans un lieu d'élimination contrôlé en RDA[25].

La société allemande Degussa Corporation, en raison de ses intérêts dans la récupération des métaux précieux comme l'argent et le mercure, procédait, jusqu'en juin 1987, à la récupération du mercure provenant de piles boutons à sa filiale Elwenn & Frankenbach Gmbh localisée à Frankfurt[84]. En 1985, 120 tonnes de piles boutons à l'oxyde d'argent et à l'oxyde de mercure provenant de plusieurs pays (RFA, France et Italie) ont subi un traitement de récupération[85]. Le prix du mercure sur le marché ainsi que les frais relatifs à l'aménagement plus perfectionné des installations déjà existantes pour répondre aux nouvelles normes environnementales ont fait cesser les activités pour lesquelles l'installation se servait du mercure.

Comme il n'existe actuellement aucune récupération des matériaux contenus dans ces piles, celles-ci sont acheminées aux lieux d'enfouissement de la RFA ou de la RDA. Le lieu d'enfouissement contrôlé Herfa-Neurode accepte les piles usées contenues dans des barils. De 5 % à 10 % des piles usées sont éliminées en RDA[23].

La RFA envisage l'implantation d'une usine de traitement des piles primaires usées, mais aucune information n'est actuellement disponible[23]. Le ministère de la Recherche et de la Technologie finance trois projets de recherche visant le traitement et la réduction de mercure dans les piles alcalines. En effet, la compagnie Varta, important fabricant de piles européen, fait présentement des

recherches sur l'utilisation d'un substitut du mercure qui pourrait réduire à 1/50 le contenu de mercure dans les piles alcalines.

6.2.6 Suède

La Suède effectue la collecte des piles boutons depuis plusieurs années et obtient un taux de collecte des piles à l'oxyde de mercure aux environs de 50 % (1984).

Un programme de collecte d'envergure nationale au sujet des piles usées de toutes sortes existe depuis janvier 1987. Les consommateurs sont encouragés par les communautés à déposer leurs piles usées dans des récipients spéciaux disposés à travers le pays. Après avoir été triées, les piles au mercure et les piles rechargeables au nickel-cadmium sont recyclées. Les autres piles sont stockées dans l'attente d'un traitement adéquat[47].

Les autorités suédoises prescrivent, depuis décembre 1986, une ordonnance ayant pour objectif de prévenir les rejets de mercure et de cadmium dans l'environnement provenant des piles et accumulateurs usés. Il incombe, par conséquent, aux fabricants et aux importateurs de prendre les mesures nécessaires pour que les piles soient moins polluantes. Ainsi, tout fournisseur de piles a la responsabilité de reprendre les piles usées. Les informations incitant les consommateurs à rapporter les piles usées doivent être données à chaque point de vente. Les piles collectées doivent par la suite être acheminées à un endroit donné pour une élimination ou une récupération adéquate[86].

Les fabricants et les importateurs doivent informer les autorités des quantités de mercure contenues dans les piles vendues et payer des frais équivalents aux coûts d'élimination des piles usées et de l'information distribuée dans le cadre de l'ordonnance[47] (23 KrS/kg pour les piles alcalines et les piles au mercure, 13 KrS/kg pour les piles rechargeables au nickel-cadmium). Toute entreprise collectant et éliminant les piles usées d'une manière inappropriée devra faire l'objet de poursuites. L'ordonnance concernant les accumulateurs nickel-cadmium est en vigueur depuis avril 1987[86].

La compagnie suédoise Sab Nife, fabricant d'accumulateurs au nickel-cadmium, possède une installation de traitement du cadmium. Subventionnée par l'État, la Sab Nife applique un traitement thermique aux déchets de production d'accumulateurs nickel-cadmium. Les installations sont rattachées aux usines de fabrication de la compagnie, situées à Oskarshamn, où s'effectue la récupération du cadmium et autres matériaux provenant de piles usagées, de rejets de fabrication et de déchets.

L'usine comprend trois sections : démontage, traitement chimique et distillation du cadmium (métal distillé à 850 °C). L'usine offre un procédé de distillation modifié pour le traitement de piles cylindriques scellées et de piles boutons nickel-cadmium, qui consiste d'abord à empiler ces types de piles dans des barils chauffés à 400-500 °C. Lorsque la pyrolyse est terminée, la température est élevée à 850 °C et la distillation a lieu[18].

L'installation peut traiter plus de 1 000 tonnes de piles nickel-cadmium par année, produisant 150 tonnes de cadmium récupéré (à 99,5 % de pureté), 340 tonnes de nickel contenant des résidus ferreux, 480 tonnes de résidus ferreux et 30 tonnes de matériaux de plastique.

6.2.7 Danemark

La collecte des piles au mercure a débuté au Danemark en 1977, par suite de négociations entreprises un an plus tôt entre les autorités, les importateurs et les détaillants. L'Agence nationale pour la protection de l'environnement a donc entrepris un programme de sensibilisation (publication sur le mercure) de la population en incitant les consommateurs à déposer leurs piles usées dans les boîtes de collecte installées chez les détaillants. Une fois remplies, les boîtes, spécialement conçues par l'Agence et

Tableau 31 Capacité de traitement des usines traitant le cadmium[18]

Usine	Capacité de traitement (t/a)	Production de Cd (t)
Sab Nife	1 000	150
SNAM	500	60

distribuées par les importateurs, étaient retournées port payé aux importateurs. Ceux-ci se chargeaient alors de l'élimination adéquate (recyclage et élimination contrôlée) du lot de piles collectées, selon le contenu. Les importateurs doivent également, depuis janvier 1979, émettre un rapport bi-annuel sur leur vente de piles à l'oxyde de mercure[42].

Le Danemark a obtenu un taux de collecte des piles au mercure équivalent à celui de la Suède, soit d'environ 50 % en 1982[42]. Depuis cette même année, l'utilisation des piles à l'oxyde de mercure a considérablement diminué au Danemark, à la suite du programme d'encouragement à la substitution mené par les importateurs de piles et les autorités.

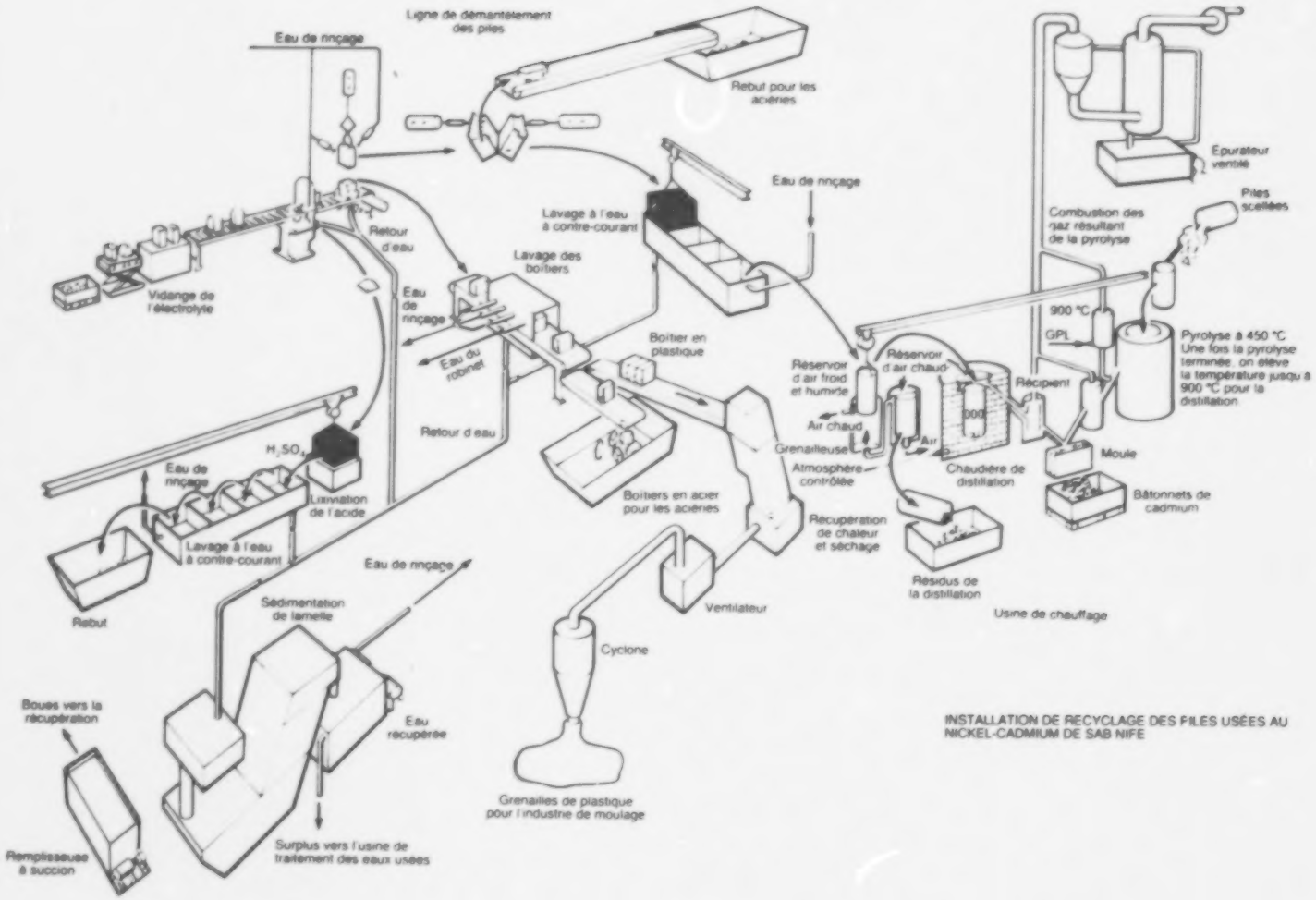
La collecte des piles HgO se poursuit toujours au Danemark, mais il n'existe présentement aucun programme officiel de collecte d'autres piles usées[87]. Par contre, de nombreux détaillants spécialisés, de même qu'une chaîne importante de supermarchés, ont commencé leur propre système de collecte de piles usées (boutons et autres). Les lots de piles ainsi collectées et non triées sont acheminés à l'installation de la firme Kommunekemi A/S Co., spécialisée dans le traitement des déchets toxiques[87]. Les piles contenant du mercure sont par la suite exportées dans des barils de plastique et éliminées de façon contrôlée dans des mines de sel.

Le Danemark est le premier pays à avoir élaboré une proposition de loi concrète concernant la vente, l'importation et l'élimination des piles et accumulateurs. Les autorités envisagent la mise en vigueur d'une législation visant l'industrie et l'incitant à réduire le contenu de mercure et de cadmium des piles, à identifier clairement les piles ayant des teneurs en mercure et en cadmium supérieures à celles recommandées et à éliminer adéquatement les piles collectées[25]. La réduction du contenu de mercure dans les piles s'effectue graduellement. Le contenu de mercure devra être de 0,13 % du poids total en 1993[37]. Aucune restriction n'est appliquée aux piles contenant moins de 250 mg de cadmium. Les piles en contenant plus, ainsi que les produits qui en contiennent, devront faire l'objet d'un marquage approuvé par l'Agence nationale pour la protection de l'environnement.

L'Agence étudie, depuis 1984, la possibilité d'instaurer un programme de collecte visant tous les systèmes de piles et les piles rechargeables au nickel-cadmium. Elle recommande ainsi, depuis février 1987, la collecte des piles alcalines et des piles rechargeables au nickel-cadmium.

6.2.8 Autriche

Les autorités autrichiennes classifient les piles électriques dans la catégorie «déchets dangereux» et encouragent fortement l'industrie des piles à financer sa propre collecte et traitement des piles usées[88]. Plus de 60 % des piles de tous types sont récupérées en Autriche, la majorité en poids étant les piles charbon-zinc puisque leur consommation représente environ 70 % du



INSTALLATION DE RECYCLAGE DES PILES USÉES AU NICKEL-CADMIUM DE SAB NIFE

Figure 19 Installation de traitement de cadmium de la Sab Nife[18]

marché des piles. Cette part du marché est toutefois à la baisse au profit des piles alcalines[40].

Mandatée par les autorités, la firme autrichienne Voest-Alpine a mis au point un procédé de traitement des piles usées. Elle dispose actuellement d'une installation de traitement des piles usées (piles boutons et autres) pouvant traiter plus de 1 000 tonnes de piles par année. Des installations de plus grandes capacités de traitement (2 500 t/a et 5 000 t/a) sont également prévues par la firme en Autriche et à l'étranger[40]. Une évaluation révèle que le contenu moyen en métaux lourds des piles collectées, mis à part le mercure, est :

- zinc : 10 - 30 %;
- manganèse : 15 - 22 %;
- plomb : 0,05-0,6 %;
- cadmium : 0,8 %;
- cuivre : 0,1 %.

Notons que ces proportions représentent un lot de piles contenant majoritairement des piles de type charbon-zinc (70 %). Le procédé proposé par Voest-Alpine a l'avantage, selon les concepteurs, d'effectuer un traitement efficace de tous les types au même endroit.

Le procédé de Voest-Alpine est représenté à la figure 20. La première étape consiste dans le tri mécanique des piles boutons et des piles cylindriques. Les piles boutons et les piles cylindriques sont par la suite traitées séparément. Les matériaux primaires et secondaires sont extraits par traitement thermique et chimique[40].

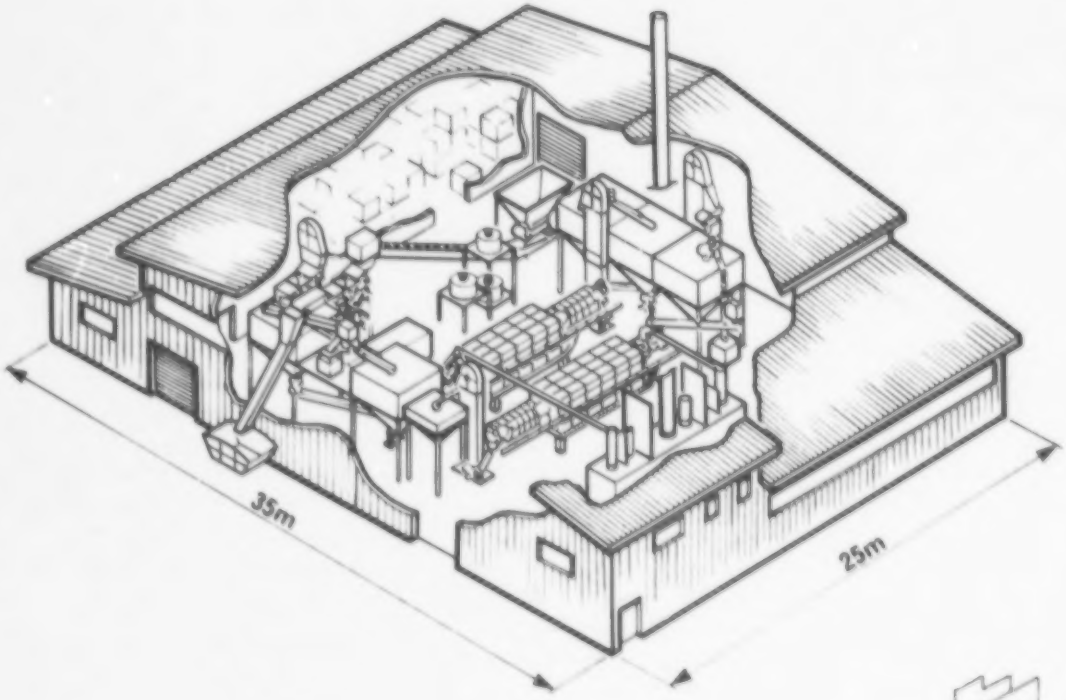
6.2.9 Autres pays européens

Certains pays européens expérimentent aussi la collecte des piles usées à l'échelle nationale ou locale. Compte tenu du peu d'information reçue sur ces pays, une brève description de la situation de collecte au Royaume-Uni, en Belgique et en Italie se retrouve dans le texte suivant.

Il n'existe actuellement aucun programme d'envergure nationale concernant la collecte et le recyclage des piles usées au Royaume-Uni, sauf en ce qui concerne les rejets de fabrication. Le département de l'Environnement a récemment émis un code de pratique encourageant l'utilisation des piles zinc-air pour les appareils auditifs. Ce programme d'incitation à la substitution a eu pour effet de réduire de 50 % la quantité de mercure reliée à l'utilisation des piles à l'oxyde de mercure[42]. Le département de la Santé et de la Sécurité sociale, en collaboration avec une firme anglaise, a organisé une collecte des piles boutons utilisées dans les prothèses auditives. Les piles collectées sont par la suite retournées au département pour être exportées et subir un traitement ou une élimination adéquate (anciennement à l'usine de Elwenn + Frankenbach Gmbh, à Frankfurt)[89]. La compagnie Varta, au Royaume-Uni, reçoit des piles usées d'organismes du secteur public (environ 20 t/a) et défraie leur élimination de façon contrôlée[18]. Au Royaume-Uni, les installations des compagnies Johnson Mathey et Engelhard effectuent depuis longtemps le traitement des piles à l'oxyde d'argent provenant de plusieurs pays, dont le Canada.

La Belgique récupère les piles boutons depuis 1983 avec l'appui des autorités gouvernementales. On retrouve les boîtes de collecte chez certains détaillants spécialisés, et la collecte des piles usées résulte généralement de l'intervention d'associations locales de protection de l'environnement[31].

Les autorités gouvernementales italiennes ont nouvellement introduit une Loi sur la gestion des déchets, classifiant les piles électriques comme «déchets dangereux» qui doivent être séparés des ordures ménagères générales. Seules les autorités municipales de Reggio Emilia, petite municipalité et province du



FIRME
VOEST-ALPINE
ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

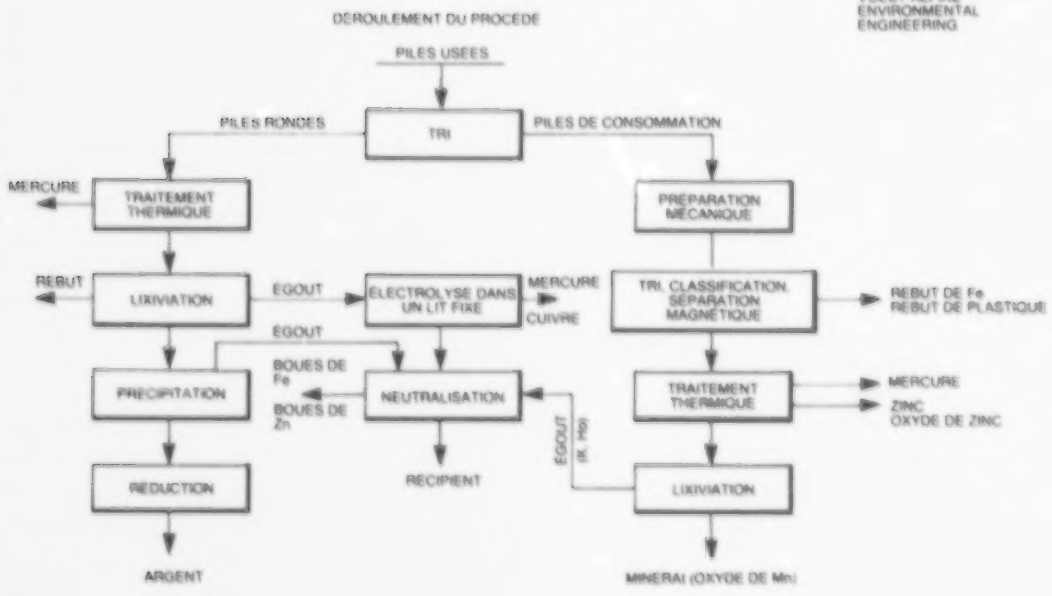


Figure 20 **Procédé de la firme Voest-Alpine**[40]

nord de l'Italie, ont prévu organiser un système de collecte des piles usées. La consommation de piles dans cette région est estimée à environ 48 tonnes de piles par année pour la ville de Reggio Emilia et d'environ 151 tonnes de piles pour la province[90]. Les piles alcalines et charbon-zinc, non assujetties à un traitement de récupération, sont contenues dans du béton, puis enfouies dans un lieu d'élimination contrôlé.

6.2.10 Japon

Le problème relié à la présence de piles dans les ordures domestiques est particulièrement sérieux au Japon, compte tenu de la faible quantité de lieux d'enfouissement. Il est prévu que, dans 10 ans, plus de 10 000 lieux contaminés auront été convertis à d'autres fins. La présence grandissante de mercure dans les sols situés près des lieux d'enfouissement au Japon est attribuée en grande partie aux piles sèches et cause de plus en plus d'inquiétudes[91]. Notons que la moitié de la consommation nationale de mercure au Japon est utilisée pour la fabrication des piles électriques[27].

Des programmes de collecte des piles usées ont été mis sur pied au Japon pour des raisons d'économie de ressources, et particulièrement pour répondre aux inquiétudes sans cesse grandissantes de la population face à la pollution par le mercure[54]. Depuis 1984, le problème des piles usées a suscité l'intérêt de la population. Il existe deux programmes de collecte des piles usées au Japon. Les piles cylindriques (alcalines) sont récupérées par environ 73 % des municipalités japonaises, et les piles boutons sont collectées par les manufacturiers par l'entremise des détaillants. L'industrie manufacturière, surveillée par les autorités gouvernementales, a mis en oeuvre un programme de collecte des piles boutons au mercure, en fournissant plus de 200 000 boîtes de collecte aux détaillants concernés. Malgré les efforts déployés par les autorités, seulement 9 % des piles cylindriques sont collectées comparativement à 27 % pour les piles boutons[54].

Le tri à la source et l'évacuation des piles sèches usées s'effectuent généralement dans les grandes agglomérations, les villes ou les communes. Les autorités municipales encouragent généralement les organismes liés aux programmes de collecte des piles usées en leur donnant une aide financière sous forme de subvention. Plusieurs municipalités ont passé des règlements exigeant que les piles soient collectées séparément des ordures ménagères[92]. Ainsi, plus de 65 % des 3 200 autorités municipales de gestion des ordures séparaient les piles usées des ordures ménagères en 1985[93]. Environ 70 % des municipalités ont donné leur appui, et plus de 111 000 détaillants à travers le pays collaborent au programme en reprenant les piles usées de tous genres. Le faible taux de collecte des détaillants d'environ 15 % et celui des autorités locales pratiquant la séparation à la source de 20 % s'expliquent en partie par le manque de motivation économique[92].

La majorité des piles collectées sont entreposées, et les autorités font face à un problème d'élimination appropriée. Plus de 30 municipalités ont acheminé leurs piles collectées à l'unique usine de traitement des piles au pays.

Les fabricants de piles japonais ont entrepris des mesures préventives visant à réduire le contenu de mercure des piles alcalines. La teneur en mercure doit être réduite à 1/6 de la teneur originale (celle de 1983) depuis octobre 1987. Cette réduction est techniquement possible en ajoutant de petites quantités de plomb, d'indium et autres métaux rares dans les particules de zinc de l'anode[27]. Les fabricants japonais s'engagent aussi à limiter leur production et l'utilisation des piles à l'oxyde de mercure[94].

L'organisme à but non lucratif Clean Japan Center, avec l'aide financière gouvernementale, a réalisé, en 1985, l'implantation d'une installation expérimentale de traitement des piles sèches

usées et des tubes fluorescents contenant du mercure[92].

Toutes les piles boutons et une partie des piles sèches collectées sont acheminées depuis 1984 à l'installation de traitement de mercure ITOMUKA Mercury Refining. L'usine située au nord du pays, à Hokkaido, possède une capacité de traitement de 20 tonnes de piles par jour, ou 6 000 tonnes de piles par année[94]. La firme Nomura Kosan Co. en assure l'opération. Il en coûte près de 350 $ la tonne de piles pour le traitement, en plus du transport pouvant atteindre 50 % de cette somme. Certaines villes ne peuvent acheminer leurs piles usées en raison du prix élevé du transport. Ces piles sèches sont alors acheminées à l'usine, puis mélangées à du béton. Elles sont finalement enfouies ou stockées dans l'attente d'une solution de traitement plus économique[54].

Le procédé de traitement est démontré à la figure 21. Un équipement spécial trie les piles par dimensions et formes et retire le contenant extérieur des piles afin de récupérer les métaux ferreux[92]. En assumant un taux de collecte de 70 %, certains auteurs prescrivent l'implantation de cinq nouvelles usines de traitement (avec chacune une capacité annuelle de 10 000 tonnes de piles), au Japon. Le problème réside dans le choix d'un emplacement pour chaque usine[92,93].

Le procédé de traitement consiste en un prétraitement de tri mécanique des piles en cinq catégories, suivi du démantèlement des piles cylindriques. La deuxième étape est composée d'un traitement thermique efficace pour l'extraction du mercure par condensation. Le mercure obtenu est purifié pour sa commercialisation à 99,99 % en poids. La troisième étape du traitement consiste en la récupération des métaux ferreux et non ferreux principalement constitués de zinc. Une récupération du manganèse et autres métaux contenus dans les piles devrait faire l'objet d'un traitement ultérieur présentement en développement[94].

6.2.11 États-Unis

Le mercure se trouve sur la liste des polluants atmosphériques dangereux. L'Environmental Protection Agency (EPA) a édicté des normes nationales d'émissions pour certaines industries utilisant du mercure, mais aucune réglementation ne concerne présentement la vente et l'élimination des piles et accumulateurs. Reconnaissant l'importance des problèmes d'élimination des ordures ménagères auxquels chaque municipalité doit faire face, l'EPA a formé un comité spécial des ordures ménagères (Municipal Waste Task Force) pour élaborer une stratégie de gestion. Les objectifs visent particulièrement la réduction et la récupération des ordures. Le comité procédera à des études éventuelles sur la récupération des piles domestiques[95].

Certains États américains s'intéressent de plus en plus à la présence des piles usées dans les

Tableau 32 Quantité de métaux récupérée quotidiennement à l'usine de Hokkaido au Japon[94]

Métaux	Quantité récupérée	Pureté du produit (% en poids)
Mercure	14-21 kg/d	70-98 % Hg
Zinc et autres	8-11 t/d	28-38 % Zn
Résidus ferreux	3-4 t/d	90-95 % Fe

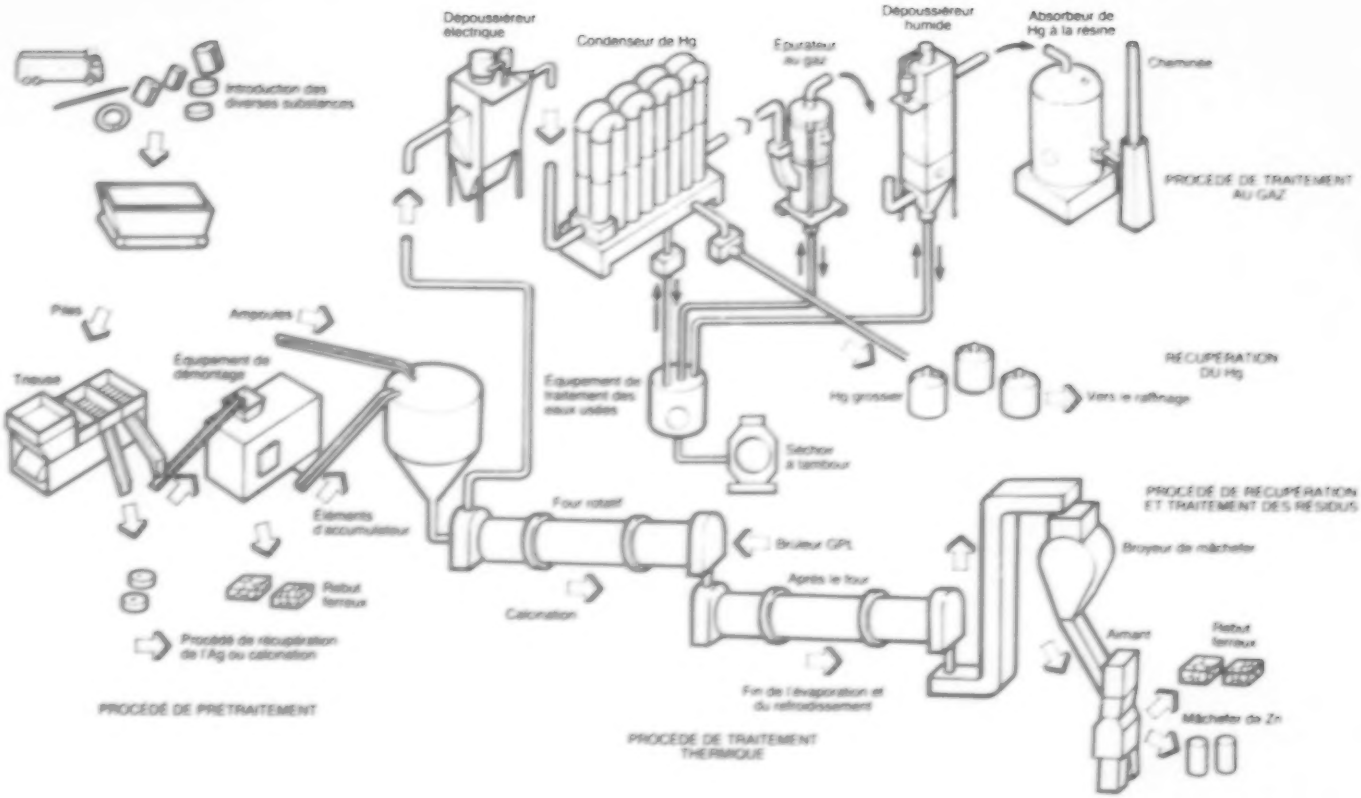


Figure 21 **Plan schématique de l'usine de récupération de Nomura Kosan au Japon**[94]

ordures ménagères. Ils répondent ainsi à l'inquiétude sans cesse grandissante des groupes de citoyens à l'endroit des émissions de métaux lourds provenant d'incinérateurs municipaux, dont le nombre augmente constamment. Le Bureau d'étude sur le recyclage du département de la Protection de l'environnement du New Jersey effectue présentement des propositions d'études quant au développement de marché du recyclage des piles usées[96].

D'après une étude concernant les «metal bearing wastes», les piles au mercure usées se retrouvent en deuxième priorité après le «spent pot lining» des incinérateurs. Le problème majeur de la récupération des piles au mercure serait d'ordre logistique. Notons qu'une publicité du *Hearing Aid Journal* encourage, depuis un certain temps, les audioprothésistes américains à ramasser les piles usées. En incluant la collecte des piles au mercure d'utilisation militaire, il serait possible, d'après les recommandations proposées dans l'étude, de résoudre le problème[97]. Ainsi, la collecte des piles au mercure usées provenant de l'utilisation militaire de même qu'un vaste programme de sensibilisation du public encourageraient la collecte des piles usées d'entreprises privées et l'implantation de nouvelles installations locales de traitement du mercure aux États-Unis.

Certains États américains ont mis en oeuvre des programmes encourageant le développement de la récupération et le recyclage. Il existe actuellement quelques projets pilotes de collecte des piles usées, mais ces programmes ne sont pas organisés par les autorités fédérales[95].

Les États du New Hamshire et du Vermont procèdent actuellement à la collecte sélective locale des piles usées de toutes sortes. Depuis le printemps de 1987, le NH-VT Solid Waste Project, un consortium de 26 municipalités des deux États, effectue la collecte des piles usées (piles boutons, alcalines, charbon-zinc et autres) afin de réduire la concentration des métaux lourds dans les ordures ménagères. La bonne marche du programme est assurée grâce à la collaboration de 70 détaillants de la région, où des récipients collecteurs spécialement conçus (identifiés d'un logo) sont installés[98]. Les consommateurs sont fortement incités par les détaillants et l'information diffusée à rapporter leurs piles usées. Certains organismes de citoyens se chargent ensuite de la collecte des récipients et du tri des piles. Les piles au mercure et à l'argent récupérées sont acheminées à l'usine Mercury Refining Co. d'Albany, dans l'État de New York. Celle-ci se spécialise dans le recyclage des composés contenant du mercure et de l'argent. La compagnie achète les piles au mercure au prix de 0,20 $ US la livre et offre 14 $ US la livre pour les piles à l'oxyde d'argent. Si les piles boutons sont mélangées, le prix d'achat diminue[99]. Les autres piles sont éliminées avec les PQDD récupérées par le NH-VT Solid Waste Project[100].

À la suite de l'initiative du NH-VT Solid Waste Project, l'Environmental Action Coalition (EAC), un organisme à but non lucratif qui travaille en collaboration avec le Department of Sanitation de la ville de New York, a mis au point son propre programme de collecte des piles boutons au mercure et à l'argent. L'EAC coordonne depuis quelque temps un programme expérimental de tri à la source (papier journal, verre, plastique, aluminium). Des contenants sont installés dans plusieurs édifices à logements de la ville. L'ajout des piles boutons aux autres produits visés par le programme existant est en vigueur depuis mars 1988. Il est également prévu d'inclure toutes les piles cylindriques dan. . . programme de collecte. Plusieurs autres récipients seront installés dans certains magasins spécialisés de la ville et ramassés par l'EAC. Les piles boutons collectées (HgO et Ag_2O) sont acheminées à l'usine Mercury Refining Co. à Albany, New York, pour y subir un traitement de recyclage[101]. Notons que l'EAC s'intéresse actuellement au procédé de traitement des piles usées élaboré par la firme autrichienne Voest-Alpine.

Le Household Hazardous Waste Project de l'Université de l'État du Missouri envisage aussi une collecte sélective des piles usées en se basant sur le système élaboré par le NH-VT Solid Waste Project[102].

Les autres entreprises traitant le mercure aux États-Unis offrent un service de ramassage de fuites de mercure provenant des bris de thermomètres, instruments ou autres[97].

Piles domestiques

PILES
USÉES
DEMANDÉES

Le recyclage, c'est de l'argent.

Les piles domestiques servent à alimenter entre autres :

- les lampes de poche;
- les prothèses auditives;
- les magnétophones;
- les caméras;
- les détecteurs de fumée;
- les jouets.

Ces piles renferment des métaux lourds, tels que le plomb, le mercure et le cadmium. Jetez vos piles usées dans le panier de recyclage du magasin où vous les avez achetées ou de la station de recyclage. Vous contribuerez ainsi à diminuer la quantité de métaux lourds destinés aux lieux d'élimination ou aux installations de transformation des déchets en énergie.

Recherchez ce logo dans les magasins participants et les installations de recyclage.

Ne manquez pas notre annonce de demain sur le recyclage des matières plastiques. Frais payés par NH The Beautiful.

Figure 22 **Programme de collecte NH-VT Solid Waste Project**[4]

Section 7

Quantification du problème au Canada

7.1 Quantité de mercure contenue dans les piles usées

Il n'est pas facile, dans un marché aussi concurrentiel que celui des piles, de se procurer des statistiques des fabricants. Par contre, les informations obtenues nous ont permis d'effectuer un traitement mathématique reflétant la situation avec suffisamment de précision pour les besoins de la présente étude. Rappelons brièvement que le marché canadien des piles s'est accru de 62 % entre 1982 et 1986. Pendant cette période, les chiffres de ventes sont ainsi passés de 136 millions de dollars à 221 millions de dollars. Pendant cette même période, l'accroissement du nombre de piles vendues est moindre, mais demeure remarquable, soit de 29,2 %. Selon nos estimations, il s'est vendu au Canada environ 130 millions de piles en 1982 et 170 millions de piles en 1986. Cette hausse montre bien qu'il se vend de plus en plus de piles «haut de gamme», et cet état de fait est principalement imputable à la popularité grandissante des piles alcalines. Les chiffres de ventes des piles au Canada pourraient être ventilés, ainsi que le présente le tableau 33.

Le marché des piles domestiques s'est modifié aussi au niveau des formats utilisés. La popularité du format AA s'est accrue de façon importante, comme le montre le tableau 35.

Les quantités de mercure contenues dans les piles étant exprimées sous forme de pourcentage massique, il a été nécessaire de mesurer ou d'estimer le poids des différents types de piles. Les résultats sont présentés au tableau 36.

D'après la majorité des études consultées, la concentration de mercure (en poids) dans les différents types de piles serait :

- charbon-zinc : 0,01 %;
- alcaline : 1,0 %;
- Ag_2O : 1,0 %;
- zinc-air : 1,0 %;
- lithium : 0 %.

Tableau 33 Répartition des ventes canadiennes de piles, 1982-1986 [11]

Type de pile	1982 (millions $)	1986 (millions $)
Alcaline	87,0	132
Charbon-zinc (haut rendement)	29,9	24
Charbon-zinc (ordinaire)	10,9	31
Rechargeable	4,1	11
Autres	4,1	23
Total	136,0	221

Tableau 34 Nombre de piles vendues (alcalines et charbon-zinc) au Canada, 1982-1986[11]

Type de pile	1982 (millions d'unités)	1986 (millions d'unités)
Alcaline	76,6	103,8
Charbon-zinc	51,2	55,4

Tableau 35 Formats de piles utilisées au Canada (alcalines et charbon-zinc)[11]

Format	1982 (millions de piles)		1986 (millions de piles)	
	alcalines	charbon-Zn	alcalines	charbon-Zn
AAA	6		5,2	?
AA	27	13	56,0	22,7
C	17,5	15	15,6	11,6
D	17	16	16,6	13,3
9 V	9	6,5	10,4	6,6
Lanterne	-	1	?	1
Total	76,5	51,5	103,8	55,2
Accroissement (%)			35,7	7,2
Total global	128		159	

Tableau 36 Poids des piles

Format de pile	Charbon-zinc (g)	Alcaline (g)
AAA	7,5	10
AA	16	22
C	50	66
D	100	132
9 V	38	46

Source : Eutrotech Inc.

En conséquence de la directive de la CEE (section 6.1), le contenu des piles en mercure devrait être réduit de 85 % d'ici à 1990 en Europe. Rappelons que le Japon effectue des réductions semblables.

Selon les informations reçues d'un important fabricant de piles nord-américain, la concentration actuelle de mercure dans les piles alcalines serait au maximum de 0,8 % et serait inférieure à 0,05 % pour les piles charbon-zinc[52]. Des concentrations de 0,8 % et de 0,01 % de mercure ont été considérées respectivement pour les piles alcalines et charbon-zinc. La compilation des quantités de mercure est présentée au tableau 37.

Pour ce qui est des autres types de piles, il n'a pas été possible d'obtenir de données valables de la part des fabricants. Des moyennes de statistiques de consommation européenne, scandinave et japonaise ont donc été utilisées compte tenu des similarités au niveau des modes de vie et de consommation. Les résultats sont présentés au tableau 38.

Ainsi donc, en considérant tous les types de piles primaires, la quantité totale de mercure reliée à l'élimination des piles usées au

Tableau 37 Mercure contenu dans les piles usées au Canada (charbon-zinc et alcalines seulement), 1982-1986[52]

	1982		1986	
Type de pile (% Hg)	Poids total (t/a)	Hg (t/a)	Poids total (t/a)	Hg (t/a)
Alcaline (0,8 %)	4 467	35,7	4 983	39,9
Charbon-zinc (0,01 %)	4 305	0,4	4 024	0,4
Hg total		36,1		40,3

Tableau 38 Mercure contenu dans les piles (HgO, Ag_2O, zinc-air)

	1982		1986	
Type de pile	Poids total (t/a)	Hg (t/a)	Poids total (t/a)	Hg (t/a)
Oxyde de Hg	31	9,3	25	7,6
Autres Ag_2O Zinc-air	37	0,3	45	0,4
Total		9,6		8,0

Source : Eutrotech Inc.

Canada est estimée à environ 50 tonnes par année (1982 : 45,7 t/a; 1986 : 48,3 t/a).

7.2 *Problème du cadmium relié à l'élimination des piles rechargeables et accumulateurs industriels au nickel-cadmium*

L'utilisation des piles rechargeables au nickel-cadmium connaît actuellement une croissance rapide. À la fin de leur vie utile, soit environ cinq ans, elles sont jetées à la poubelle comme toutes les autres piles domestiques. Plusieurs pays envisagent devoir les collecter, et certains, dont la Suisse et les Pays-Bas (provinces du Sud), ont déjà instauré un programme de collecte.

Les accumulateurs industriels au nickel-cadmium sont utilisés depuis plus longtemps, et la masse importante de leurs électrodes rend leur récupération intéressante. Il est important de préciser ici que la cathode de nickel a beaucoup plus de valeur que l'anode de cadmium.

Rappelons que, en Europe et en Scandinavie, la récupération des accumulateurs industriels au nickel-cadmium fonctionne relativement bien. Les accumulateurs usés sont dirigés vers une des deux usines de récupération du cadmium actuellement en opération (section 6). Vu la faible valeur actuelle du cadmium, certains petits récupérateurs entreposent l'anode de cadmium et n'expédient que la cathode de nickel, dans l'attente d'une remontée du prix du cadmium.

Nous n'avons pas réussi, par nos recherches au Québec et en Ontario, à découvrir ce qu'il advient des accumulateurs au nickel-cadmium de type industriel. Les utilisateurs les rapportent habituellement aux détaillants qui les acheminent, semble-t-il, en Ontario. Or, à notre connaissance, il n'existe aucune usine de recyclage du cadmium au Canada.

Il est fort possible que la cathode de nickel soit recyclée, compte tenu de sa valeur, mais qu'advient-il alors de l'anode de cadmium? Il y aurait lieu de poursuivre davantage l'investigation.

7.3 *Comparaison des situations canadienne et étrangère*

Comme mentionné précédemment, la consommation canadienne des piles au mercure, au lithium, à l'argent ou au zinc-air a été estimée à partir de moyennes de consommation étrangères. Une évaluation plus exhaustive a été effectuée pour la consommation canadienne des piles alcalines et charbon-zinc. En comparaison des pays étrangers, à l'exception des États-Unis, le Canada se différencie de façon marquée par l'emploi massif de piles alcalines. Ce trait de consommation influence directement la quantité de mercure générée, les piles alcalines en étant la principale source. Le tableau 39 permet de comparer les situations canadienne et étrangère.

7.4 *Mercure provenant des piles usées en comparaison avec les autres sources anthropogéniques*

Afin de mieux juger l'importance relative du mercure provenant des piles usées, présentons les sources de mercure découlant des autres activités humaines. Tirées de divers documents, ces autres sources de mercure ne sont qu'estimatives. Notons qu'il est considéré ici que, si le mercure contenu dans différents produits ne fait pas l'objet d'un recyclage, il doit être perçu comme un rejet dans l'environnement. Ce rejet peut être plus ou moins rapide ou dommageable selon le type d'élimination des déchets utilisé (sections 5.2.1 et 5.2.2).

Le tableau 40 présente une estimation des émissions anthropogéniques de mercure au Canada.

À la lumière des chiffres du tableau 40, il est possible d'apporter quelques réflexions au sujet des tendances futures.

Tableau 39 Piles usées et mercure : situations canadienne (1982 et 1986) et étrangère (1982)

Pays	Japon	RFA	Suisse	France	Pays-Bas	CEE	Suède	Danemark	Canada 1982	Canada 1986
Population (millions hab.)	120	61	6,4	55	14,4	271	8,3	5,1	25	25,4
Piles charbon-Zc										
t/a	37 900	13 800	3 500	22 000[1]	3 000	62 000	-	-	4 305	4 024
t/a Hg	3,79	1,4	0,3	2,2	0,3	6,2	-	-	0,4	0,4
Piles alcalines										
t/a	7 050	4 600	1 100	10 000[1]	700	17 330	365	233	4 467	4 983
t/a Hg	70,5	35	8	100	7	173,3	3,6	2,3	35,7	39,9
Piles HgO										
t/a	172	75	13	20	12,3	218	12,8	7	31	25
t/a Hg	51,5	25	4	7,8	3,7	65,4	3,8	2	9,3	7,6
Autres piles (zinc-air, Ag_2O, lithium)										
t/a	221	37	13	24	-	280	3[2]	13,5	37	45
t/a Hg	2,21	0,4	0,13	0,24	-	2,8	0,03[2]	0,13	0,3	0,4
Total										
t/a	45 343	18 512	4 626	32 044	partiel 3 712	79 828	trop	trop	8 840	9 077
t/a Hg	128	61,8	12,4	110,2	11	247,7	partiel	partiel	45,7	48,3
g/hab. par année	378	303	723	583	2[illegible]	294			354	357
g Hg/hab. par année	1,07	1,01	1,94	2,0	0,76	0,91	-	-	1,82	1,90

N.B. : 1 1987
2 douteux
Source : Eutrotech Inc.

- D'ici quelques années, les thermomètres au mercure seront très peu utilisés, car ils céderont de plus en plus la place aux thermomètres digitaux.
- Les amalgames dentaires, peu esthétiques, sont de plus en plus remplacés par de nouvelles préparations dentaires ne contenant pas de mercure.
- La réduction des émissions de mercure provenant de l'industrie de la soude caustique est remarquable. En 1970, cette source représentait 32 % des émissions totales de mercure au Canada. Elle ne représente plus aujourd'hui qu'environ 2 %. Les rares usines pourvues de cellules au mercure cesseront leurs activités dans un proche avenir.
- Le Canada devrait interdire, à l'instar d'autres pays, l'utilisation du mercure comme fongicide dans les peintures.
- La collecte et le recyclage des instruments électriques industriels contenant du mercure devraient être envisagés.
- La mise en place éventuelle d'équipement pour réduire les émissions atmosphériques

Tableau 40 Émissions anthropogéniques de mercure au Canada

	Hg (t)	%
Piles usées (1988)	50	35
Instruments industriels et de contrôle	24	16,8
Peinture	19	13,3
Industries minières zinc : 9,8 t cuivre : 6,0 t plomb : 0,4 t	16,2	11,3
Amalgames dentaires	10	7
Combustibles fossiles	9	6,3
Fluorescents et lampes au mercure	4,5	3,1
Thermomètres	4	2,8
Industrie de la soude caustique	2,7	1,9
Agriculture	2	1,4
Pharmacie	1,5	1
Total	142,9	

N.B. : données de 1982, sauf pour les piles

Source : Eutrotech Inc.

acides dans l'industrie minière devrait permettre subsidiairement de réduire aussi les émissions de mercure. En Scandinavie, une industrie minière importante récupère actuellement le mercure présent dans ses émissions gazeuses; le mercure ainsi récupéré satisfait les besoins du pays pour ce métal.

7.5 Réactions canadiennes face au problème des piles usées

La mise en service récente d'un incinérateur à Burnaby a donné lieu à un débat fort animé. La presse locale a longuement fait état de la situation. La population de la région de Vancouver s'inquiète des émissions générées par le nouvel incinérateur; la question du mercure provenant des piles usées a été soulevée plusieurs fois. Pourtant, cette nouvelle installation semble être mieux pourvue que la plupart des autres incinérateurs au pays pour épurer les émissions gazeuses. En effet, un lavage des gaz y est effectué. La population s'inquiète aussi du sort réservé aux cendres provenant de l'incinérateur, qui contiennent généralement des métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le mercure ou autres. Le Greater Vancouver Regional District étudie actuellement le problème et évaluera si une collecte des piles usées s'avère nécessaire.

La majeure partie des ordures de la région de Toronto est incinérée. Un programme local de collecte de tous les types de piles usées a débuté en novembre 1987. Un document publicitaire a été distribué par l'entremise des factures d'électricité postées aux abonnés. La population est invitée à déposer les piles usées dans l'un des 17 conteneurs situés près de ceux destinés à la récupération du verre et de l'aluminium.

Il est trop tôt pour commenter la réponse des citoyens. Les piles collectées sont actuellement entreposées dans l'attente de la construction éventuelle d'un centre de traitement par la compagnie HEVMET Recovery Limited à Port Colborne en Ontario. Cette compagnie prévoit la mise en oeuvre d'un procédé de traitement autrichien (Voest-Alpine) qui permettrait de traiter tous les types de piles[101].

À notre connaissance, l'industrie de recyclage des produits mercuriels la plus rapprochée du Canada se situe à Albany, New York.

Section 8

Recommandations

Les informations recueillies, lors de la présente étude, révèlent qu'un programme de collecte des piles usées au mercure (HgO) seulement s'avérerait peu efficace pour réduire de façon notable les «émissions» de mercure provenant des piles usées, car, d'une part, sur un total de 48 tonnes de mercure par année, seulement sept tonnes sont imputables à ce type de piles et, d'autre part, leur utilisation devient de plus en plus restreinte. En effet, l'industrie japonaise a accepté, il y a quelques années, de ne plus développer de nouvelles applications pour les piles au mercure. De plus, il existe aujourd'hui d'autres types de piles pouvant se substituer avantageusement aux piles au mercure. Par exemple, les piles zinc-air peuvent les remplacer dans la plupart des prothèses auditives, qui représentent, de nos jours, l'utilisation principale des piles au mercure.

Un programme de collecte de piles usées devrait, par conséquent, inclure les piles alcalines, qui à elles seules représentent plus de 40 tonnes de mercure émises annuellement au pays. Il nous apparaît très clair qu'un programme de collecte des piles usées d'envergure nationale comporterait de nombreux problèmes reliés au tri, à l'entreposage, au traitement final et, particulièrement, aux coûts de transport des piles qui seraient forts élevés d'après la distance entre les centres urbains. Ces facteurs s'ajoutent au fait que le taux de collecte des piles usées est généralement faible, surtout en ce qui a trait aux piles cylindriques (alcalines), même dans les pays où la population est conscientisée au problème depuis de nombreuses années. Selon l'expérimentation actuelle de certains pays européens, les problèmes majeurs relevant des programmes de collecte des piles usées (alcalines et autres) sont d'ordre économique. En effet, lorsque les piles cylindriques sont incluses dans les programmes de collecte, le traitement est difficilement rentable.

Malgré la quantité importante de mercure provenant des piles usées, nous ne recommandons pas, pour le moment, la mise sur pied d'un programme de collecte des piles usées. Nous sommes d'avis qu'il vaudrait mieux s'attarder à réduire les quantités de mercure émises lors de l'élimination des piles usées, plutôt que d'instaurer une collecte à l'échelle nationale.

À la lumière des informations recueillies, il apparaît possible de réduire considérablement l'émission de mercure provenant des piles usées de façon plus efficace et économique que par la mise sur pied d'un programme de collecte et de traitement.

Ainsi, au Canada, il serait possible de réduire d'environ 80 % les émissions de mercure imputables aux piles usées en mettant en application les recommandations suivantes :

- Encourager la substitution des piles à l'oxyde de mercure par des piles contenant pas ou peu de mercure, par des mesures incitatives ou législatives. Rappelons que les piles zinc-air peuvent remplacer les piles au mercure dans les prothèses auditives. Il conviendrait alors de sensibiliser les utilisateurs ainsi que les audioprothésistes par un programme d'information. Notons que cette substitution est aujourd'hui techniquement et économiquement réalisable.

- Adopter des mesures incitatives et/ou législatives similaires aux directives de la

CEE qui exigent une réduction progressive de 85 % de la concentration de mercure des piles alcalines d'ici à 1990.

- Ne pas oublier que tous les incinérateurs municipaux devront dorénavant être pourvus d'équipements permettant d'effectuer un lavage des gaz de combustion. En effet, le mercure émis sous forme gazeuse lors de la combustion des ordures ménagères traverse aisément les systèmes de dépoussiérage généralement utilisés. Le problème des émissions mercurielles provenant des incinérateurs s'ajoute aux autres facteurs militant en faveur d'un traitement plus poussé des émissions gazeuses. Un lavage des gaz est, à notre avis, devenu indispensable pour tous les incinérateurs municipaux.

Nous recommandons également l'étude du problème relié à l'élimination des piles rechargeables au nickel-cadmium, compte tenu de leur popularité grandissante et de leur forte teneur en cadmium (environ 15 %).

Références

1. Environnement Canada. Service de la protection de l'environnement, *Inventaire national des sources et des émissions de mercure (1978)*, Rapport SPE 3-AP-81-1F, janvier 1983, 31 p.

2. MORRAL, F.R. «Historical Metallurgy Notes; Mercury - A Historical Review», *Canadian Mining & Metallurgical Bulletin*, vol. 77 n° 1, 1984, p. 80-85.

3. National Electrical Manufacturers Association, Dry Battery Section. *Report on the Use of Mercury in Primary Dry Cell Batteries*, documentation provenant de la correspondance, 1985, 8 p.

4. NH-VT Solid Waste Project. *Household Battery Collection Program*, documentation provenant de la correspondance, juillet 1987, 4 p.

5. MATHESON, D.H. *The Atmospheric Transport of Mercury - A Review and Appraisal of the Current Literature*, rapport publié par Pêches et Océans et Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, 1977, 36 p.

6. SCHIELE, R., SCHALLER, K.H. et H. VALENTIN. *The Influence of Mercury on Man*, Medical-biological study by order of the Association of European Dry Battery Manufacturers - Europile -, University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, mai 1983.

7. Conseil des sciences du Canada. «Vue d'ensemble de la contamination par le mercure au Canada», *Québec Science*, octobre 1977, 23 p.

8. LANGERWERF, J.S.A. DE KREUT, J.F. et J.I. WALPOT. *Literature Study on the Environmental Impact in the Netherlands of Dry Batteries in Domestic Wastes*, Rapport TNO n° R 84/212b, Delft, Pays-Bas, 1985, viii et 52 p.

9. PEREZ, C. et J.P. GROLIMUND. *Le mercure et les piles au mercure - un risque pour l'homme et pour l'environnement*, documentation non publiée, École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse, 1977. 31 p.

10. INGOLD, J.-L. «Des piles comme s'il en pleuvait», *Hebdo société*, Suisse, 19 février 1987, p. 42-49.

11. Moli Energy. Informations reçues par correspondance, septembre 1987, 12 p.

12. Centre de recherche industriel du Québec. *Rapport sur l'industrie des piles et accumulateurs* (DIT-81-097), étude réalisée pour le ministère de l'Environnement du Québec, Québec, 1981, 138 p.

13. Énergie, Mines et Ressources Canada. «Lithium - un produit importé», *Bulletin minéral* MR 212, Ottawa, 1986, viii et 46 p.

14. Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse). «Enquête sur les déchets spéciaux en Suisse», Les cahiers de l'environnement n° 63, Berne, juin 1987, 66 p.

15. DE COTRET, R. et F. LEMAY. «Celles qui tombent piles» *Protégez-vous*, mars 1986, p. 21-28.

16. COLIN, A.V. et collab. *Modern Batteries an Introduction to Electro-chemical Power Sources*, éd. Edward Arnold, London, [s.d.], 264 p.

17. VENKATASETTY, H.V. «Primary Batteries», *Lithium Battery Technology*, John Wiley & Sons, New York, 1984, p. 61-77.

18. BEVINGTON, C.F.P. *Cadmium Recovery from Scrap Nickel - Cadmium Batteries in the EEC: Scope and Economics*, étude contractuelle de la CEE n° CC/84/149, 1985.

19. Eveready. Union Carbide, *Eveready Battery Engineering Data*, vol. 111, Carbon-zinc General Purpose and Super Heavy Duties Batteries, Danburry, CT, 1984, 341 p.

20. MANTELL, C.L. *Batteries and Energy Systems*, McGraw-Hill Book Co., New York [s.d.], 319 p.

21. Europile. *Primary Batteries in Waste & the Environment*, document de travail, Berne, janvier 1986, 24 p.

22. Hiller, F. *Recovery of Useful Material from Electrical Batteries*, information extraite de la correspondance, 1987, 6 p.

23. GENEST, W. *Used Batteries Waste*, conférence donnée à Berlin, Vortrag Zum Internationalen Recycling Congress, Berlin, documentation provenant de la correspondance, 1986, 7 p.

24. Duracell. *Industrial Products, Battery Systems*, feuillets techniques provenant de la correspondance, 1988.

25. Communauté économique européenne. *Primary Batteries in Waste and the Environment*, documentation provenant de la correspondance.

26. Eveready. Union Carbide, *Eveready Battery Engineering Data*, vol. II, Cylindrical and Miniature Batteries, Danburry, Ct, 1982, 163 p.

27. GOTOH, S. «Avoidance & Recycling of Used Dry Battery», *Proceedings of Recycling International*, vol. 2, octobre 1982, Berlin, K.J. Thomé-Kozmiensky, 1986, p. 1221-1226.

28. PASSER, C. «Pour retraiter les piles usagées - une usine pilote», *Le Neuchatel* (Suisse), Neuchatel, le 27 avril 1987.

29. RUETSCHI, P. «Why and how should waste mercury piles be collected and re-used?», *ISWA Information Bulletin*, n° 21, Yverdon, Suisse, [s.d.], p. 17-18.

30. YAMUGUCHI, S. et collab. «Discovery of methyl mercury compound in dry batteries», *The Science of the Total Environment*, vol. 27, p. 53-58.

31. COCHAUX, E. Confédération belge de la récupération (COBEREC), Bruxelles, lettre du 4 juin 1987.

32. GENEST, W. *Geltende Und Voraussichtliche Vorschriften Und Maßnahmen Zur Entsorgung Von Geratebatterien*, Techn. Akademic Esslingen, documentation provenant de la correspondance, Berlin, 1987, 11 p.

33. GOTOH, S. «Waste Management & Recycling Trends in Japan», *Resources & Conservation*, vol. 14, 1987, p. 15-28.

34. Approvisionnements et Services Canada. «Une nouvelle génération de piles rechargeables», *Bulletin*, n° 155, février 1986, p. 1-6.

35. WANG, H. Moli Energy, Burnaby, C.-B., entretien téléphonique le 29 février 1988.

36. Duracell. *Découvrez... Dynacharge rechargeables*, feuillet publicitaire, [s.d.], 3 p.

37. Communauté économique européenne. *Proposition de directives du Conseil relative aux piles et accumulateurs contenant des matières dangereuses*, résumé et compte rendu non officiel de réunion le 1er octobre 1986, Bruxelles, 1986, 30 p.

38. [s.n.]. «Industry gets $1 billion charge out of batteries not included», *Eagle Times*, Claremont, NH, le 14 décembre 1986.

39. TELZROW, T.N. Eveready Battery Company Inc., Cleveland, Ohio, lettre du 14 décembre 1987.

40. VOEST-ALPINE. *Information on Battery Recycling*, documentation provenant de la correspondance, New York, New York, [s.d.], 9 p.

41. FILIUS, A.M. et N. STRUIJK. *Description of a Project for Collection of Used Batteries - Beschrijving Van Een Inzamel-projekt Gebruikte Batterijen*, rapport en langue hollandaise par Battrex b.v., Delft, Pays-Bas, avril 1987, 44 p.

42. MARCUS, H. *Management, Collection and Recycling of Mercury Batteries*, étude réalisée pour la CEE (novembre 1984), Bruxelles, 1984, 47 p.

43. BERGMAN, J.M. Duracell, département des Communications, Bethel, CT, lettre du 29 juillet 1987.

44. Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse). *Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement*, annexe 4.10 (piles), communiqué interne présenté par B. Bohlen, Berne (Suisse), 15 août 1986, 14 p.

45. Environnement Canada. Service de la protection de l'environnement, *Le Programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs (PNEEI)*, fiche d'information, Ottawa, 1985.

46. OTTINGER, R.S. et collab. *Recommended Methods of Reduction, Neutralization, Recovery or Disposal of Hazardous Waste*, volume XIV, rapport n° EPA-670/2-73-053-n préparé pour l'Environmental Protection Agency des États-Unis, Washington, D.C., 1973, 88 p.

47. KJALLMAN, A. National Environmental Protection Board, Technical Department, Waste Management and Recycling, Solna, Suède, lettre du 23 novembre 1987.

48. MECHLER, W.A. *Review of Recent Literature and Information from Switzerland and West Germany Concerning Separate Collection of Galvanic Batteries to Reduce Heavy Metals Pollution with an Assessment of Mercury and Cadmium Emissions from Refuse Incinerators*, étude préliminaire préparée par le Greater Vancouver Regional District, 1988, 24 p.

49. YAKOWITZ, H. *Waste Management Activities in Selected Industrialized Countries*, rapport préliminaire effectué pour le compte de l'OCDE, Paris, 1987, 27 p.

50. Ministère de l'Environnement du Québec. «La valorisation des déchets domestiques», rapport n° 6 de la série «Pour une gestion intégrée des déchets», Québec, 1987, 63 p.

51. Ministère de l'Habitat, de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (Pays-Bas). *Programme des Pays-Bas pour l'Environnement 1986-1990*, rapport VROM 85903/12-85, La Haye, 1985, 186 p.

52. BONHOMME, J.P. «Des HPA cancérogènes dans l'air de Montréal et de Toronto», *La Presse*, Montréal, 7 avril 1988, p. A16.

53. GUGELMANN, E. «Le cas des piles usées», *Construire*, n° 38, Neuchatel, Suisse, 18 novembre 1985, p. 2.

54. HERSHKOWITZ, A. et E. SALERNI. *Garbage Management in Japan: Leading the Way*, publication d'Inform Inc., New York, New York, 1987.

55. ENVIRONNEMENT CANADA. *Le Programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs : Sommaire des techniques de dépollution des gaz de combustion*, rapport SPE 3/UP/2F, Ottawa, 1986, xiv et 88 p.

56. Agence nationale de récupération et d'élimination des déchets (ANRED). «Idée! Si on récupérait les piles boutons», dossier de presse publié par Angers, France, 1987, 9 p.

57. JUNGER, J.M. Commission des communautés européennes, Direction générale de l'environnement, de la protection des consommateurs et de la sécurité nucléaire, Bruxelles, lettre du 29 janvier 1988.

58. MIGROS-GENOSSENSCHAFTS-BUND. *Batterien-Ruechknahme ohne depot in der Migros (Ein Beitrag Zum Umwelschutz)*, exposé présenté à Zurich, le 17 novembre 1986.

59. Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse). *Substances dangereuses pour l'environnement*, annexe 4.10 (articles 9, 11, 35 et 61), résumé de la *Loi sur les substances dangereuses pour l'environnement*, Berne, 1986, p. 69-72.

60. LAETT, H.A. AFIF, Zurich, lettre du 13 juillet 1987.

61. LEUCH, M. Aktion Saubere Schweiz, Zurich, lettre du 6 mars 1986.

62. RUETSCHI, P. Leclanché SA, Yverdon, Suisse, lettre du 5 juin 1987.

63. LECLANCHÉ, S.A. *Environmental Protection Activity Regarding Mercury Recovery from Used Batteries in Switzerland*, communiqué interne de la compagnie Leclanché S.A., Yverdon, Suisse, 26 juillet 1984, 2 p.

64. OGGIE, V.P. Office fédéral de la protection de l'environnement, Berne, Suisse, lettre du 19 mars 1986.

65. BARANGER, P. Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED), Angers, France, lettre du 19 juin 1987.

66. BOHLEN, B. *Verordnung uber Umweltgefahrdende stoffe; anhang 4, 10 (baterien)*, publication interne, Office fédéral de la protection de l'environnement, Berne, Suisse, 1986, 22 p.

67. Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse). *Ordonnance sur les mouvements de déchets spéciaux (ODS)*, Berne, 12 novembre 1986, 31 p.

68. [s.n.]. «Ne jetez plus vos piles à la poubelle», *Corporation*, Suisse, documentation provenant de la correspondance, 1985.

69. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Direction de l'environnement,

Environment Monographs no. 6, Fate of Small Quantities Hazardous Waste (Sort des petites quantités de déchets dangereux), Paris, août 1986, 100 p.

70. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *L'état de l'environnement*, Paris, 1985, 293 p.

71. GUGELMANN, E. Migros-Genossenschaft-Bund, Zurich, lettre du 27 mai 1987.

72. VITAL et collab. ETH-Zentrum (ETZ), Zurich, entretien le 16 septembre 1987.

73. MEIER, M. ORFA Umwelttechnik AG, Zurich, lettre du 16 juillet 1987.

74. BOHAC, P., BIBER, R. et A. VITAL. *Procédé de recyclage des piles usagées*, résumé d'un exposé tenu lors du Congrès de l'Association des ingénieurs à Bâle, Suisse, le 12 mai 1987, 3 p., documentation provenant de l'entretien avec les trois auteurs, Zurich, le 16 septembre 1987.

75. MEIER, M. ORFA Umwelteknik AG, Zurich, lettre du 2 juillet 1987.

76. FAHRNI, H.P. Office fédéral de la protection de l'environnement, Berne, Suisse, lettre du 19 juin 1987.

77. FIALA-GOLDIGER, M. Recytec SA, Morges, Suisse, lettre du 7 janvier 1988.

78. BOHMAN, R.O. VROM, La Haye, Pays-Bas, entretien personnel le 11 septembre 1987.

79. MEIJER, M.B. FME-Nefibat, Zoetermeer, Pays-Bas, entretien personnel le 14 septembre 1987.

80. STRUIJK, M.N. et collab. Battrex B.V., Delft, Pays-Bas, entretien personnel le 15 septembre 1987.

81. VAN GEMERT, W.J.Th., HAZEWINKEL, J.H.O. et P.J. MEIJER. «Treatment of Spent Batteries», *Recycling International*, Karl J. Thomé-Kozzmiensky, vol. 2, [s.d.], p. 1206-1210.

82. BEGUIN, D. et P. BARANGER. Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED), Angers, France, entretien personnel le 21 septembre 1987.

83. BEGUIN, D. Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED), Angers, France, lettre du 31 juillet 1987.

84. HASBACH, M. Entretien à Teterboro, N.J. (Dégussa Corporation), le 23 juillet 1987.

85. HASBACH, M. Elwenn & Frankenbach Gmbh, Frankfurt, RFA, lettre du 25 mars 1986.

86. Swedish National Environmental Protection Board. *Swedish Code of Statute - Ordinance on Batteries Hazardous to the Environment*, documentation provenant de la correspondance, 4 p.

87. CHRISTENSEN, C. Ministry of the Environment, National Agency of Environmental Protection, Danemark, Copenhague, lettre du 12 juin 1987.

88. VEYS, F. Bureau international de la récupération, Bruxelles, Belgique, lettre du 3 juin 1987.

89. WOOD, H.A. United Kingdom Department of the Environment, Noise, Nuisance and Waste Division, lettre du 11 février 1988.

90. MAZZA, G.P. «La reccolta delle pile usate a Reggio Emilia», *Inquinamento* (Italie), septembre 1985, information

provenant de la correspondance, 1985, 4 p.

91. POLLACK, A. «Battery Pollution Worries Japanese», *New York Times*, 25 juin 1984, p. D1-D4.

92. GOOCH, R.C. Johnson Mathey Limited, lettre du 30 novembre 1987.

93. [s.n.]. «Japan facing mercury threat», *Engineering News-Record*, vol. 213, n° 2, 12 juillet 1984.

94. Clean Japan Center. *Mercury and Other Metals from Used Dry Battery Cells Recycling Demonstration Plant*, documentation provenant de la correspondance, 1987, 6 p.

95. CARRA, J.S. U.S. Environmental Protection Agency, Waste Management Division, Washington, lettre du 22 février 1988.

96. DeBONIS, M.F. New Jersey State Department of Environmental Protection, Division of Solid Waste Management, Trenton, New Jersey, lettre du 23 août 1987.

97. U.S. Bureau of Mines. *Study of Availability and Composition of Metal Bearing Wastes (Generated in Titanium Extraction and Fabrication, Aluminum Smelters Chromite Bearing Refractory and Foundry Sands and Mercury Battery Industries)*, rapport n° PB84-207091, Washington, 1984.

98. NH-VT Solid Waste Project. *Analysis of the Costs and Recovery Rates of Household Batteries Collection in the NH-VT Project*, documentation provenant de la correspondance, 18 décembre 1987, 6 p.

99. COHEN, L. Mercury Refining Co., Albany, New York, entretien téléphonique le 17 mars 1988.

100. LEACH, C. NH-VT Solid Waste Project, entretien téléphonique le 15 mars 1988.

101. HURD, D. New York Environmental Action Coalition, coordonnateur de la gestion du projet, entretien téléphonique le 15 mars 1988.

102. STEINWASHS, M. SW Missouri State University, Springfield, entretien téléphonique le 15 mars 1988.

Bibliographie

Agence nationale de récupération et d'élimination des déchets (ANRED). *Rapport d'activité 1985*, Angers, France.

Agence nationale de récupération et d'élimination des déchets (ANRED). *Rapport d'activité 1981*, Angers, France.

Agence nationale de récupération et d'élimination des déchets (ANRED). *Rapport d'activité 1983*, Angers, France.

ARNST, C. «Lithium powers into mass market», *Globe and Mail*, 27 mai 1986, p. B-14.

American National Standards Institute Inc. «Specifications for Dry Cells and Batteries», 21 mai 1979, 19 p.

Association des entrepreneurs en services sanitaires du Québec Inc. Mémoire présenté au ministère de l'Environnement du Québec, Montréal, 1987.

BARAK, M. et collab. *Electrical Power Sources. Primary & Secondary Batteries*, Institution of Electrical Engineers, Stevenage, Peter Peregrinus Ltd, 1980, 498 p.

BITTNER, W. G.B., Comtec SA, Paris, France, entretien le 23 septembre 1987.

BOHAC, P., BIBER, R. et A. VITAL. *Aubereitungsverfahren Fur Verbraucgte Kleinbatterien*, résumé d'un exposé oral, EIC SA, Zurich, 1987, 13 p.

BRUNNER, C. R., *Hazardous Air Emissions from Incineration*, Chapman and Hall, New York, 1985, 222 p.

Bureau d'expansion industrielle régionale. «Fabriqué au Canada», *Radar*, Réseau d'approvisionnement des souches d'affaires, PRODUIT, novembre 1986.

Canadian Manufacturers Association, *Canada Trade Index*, 1987.

COMER, E.P. «The Lithium Industry Today», *Lithium - Needs and Resources*, symposium tenu à Corning, New York, 12-14 octobre 1977, Pergamon Press, Oxford, p. 237-240.

DICK, A. C. Canadian Battery Manufacturers' Association, lettre du 7 mars 1988.

Duclos Environnement. *Traitement des déchets mercuriels*, information technique provenant de la correspondance, 1987, 4 p.

Éditeur officiel du Québec. *Règlements sur les déchets solides*, à jour au 5 mai 1987, publication ISBN 2-551-09512-3, Québec, 1987, 26 p.

Éditeur officiel du Québec. *Règlements sur les déchets dangereux*, à jour au 10 juin 1986, publication ISBN 2-551-09318-X, Québec, 1986, 26 p.

Enterprise for Education Inc. *Hazardous Wastes from Homes*, Santa Monica, California, 36 p.

Environnement Canada. *Les incinérateurs municipaux et les systèmes de contrôle de la pollution atmosphérique*, fiche d'information, Conservation et Protection, Ottawa, 1986.

Environnement Canada. Service de la protection de l'environnement, *Le Programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs : sommaire des essais à l'incinérateur à combustion à deux étapes de*

Parkdale, Île-du-Prince-Édouard, rapport SPE 3/UP/1, Ottawa, xii + 88 p..

ERASMUS, H. Ministère du Logement, de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (VROM), La Haye (Pays-Bas), entretien le 11 septembre 1987.

ERASMUS, J.H. *Recent developments in the Netherlands*, information provenant de la correspondance, Leidschendam, octobre 1987, 20 p.

Eveready. Union Carbide, *Eveready Battery Engineering Data*, vol. 1, Danburry, CT, 1980, 277 p.

FERGUSON, R.H. Ministry of Environment and Parks, Province of British Columbia, Waste Management Department, lettre du 23 septembre 1987.

FIALA, M. Recytec SA, Genève, Suisse, entretien téléphonique le 30 décembre 1987.

FISHER, P. «Piles en surcharge - Ralston (UCAR) relève le défi de Kodak», *L'Impartial*, (Suisse), La Chaux-de-Fonds, 24 septembre 1987, p.1.

Fraser's. *Canadian Trade Directory*, vol. 1, 1987, p. 1-952.

FRANKENBACH, P.P. *Reclamation of Mercury from Primary Cell Waste and from Other Mercury-containing Residue*, publication BMFT-FB-T 84-183, NTIS, 1984, 114 p.

Government of Environment Agency (Japon). «Measures for Waste Difficult of Proper Disposal», *Japan Environment Summary*, vol. 13, n° 10, 10 octobre 1985, p. 12.

GRAHAM, R.W. *Primary Batteries Recent Advances*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1978, 363 p.

HANULIK, J. *Neue wirtschaftliche Methode zur Wiederver - wertung von Batterien*, documentation reçue par correspondance, Zurich, 1987, 4 p.

HASLER, K. *Batteries: Throwaway is Dangerous - Batterien: Zum Wegwerfen zu gefahrlichm*, documentation provenant de la correspondance, Biberstein, Suisse, 1985, p. 449-465.

HIRAYAMA, N., GOTOH,S. et T.YAJIMA. «Recovery of Mercury and Other Metals from Used Dry Battery Cells - The CJC Demonstration Plant in Hokkaido, Japan», *Proceedings of the 5th I.R.C. Recycling International*, vol. 2, octobre 1986, Berlin, K.J. Thome-Kozmiensky, 1986. p. 211-1215.

IRVING, M. E. E.C. Battery Canada Corp., lettre du 20 novembre 1987.

JACOB, C. Greater Vancouver Regional District, entretien téléphonique le 15 mars 1988.

MÉNARD, M. *Compte rendu de la mission technique effectuée en Europe du 10 au 25 septembre 1987; récupération des piles au mercure*, document interne effectué dans le cadre de l'étude de faisabilité sur la récupération des piles au mercure, octobre 1987, 100 p.

Ministère de l'Environnement du Québec. *Les modèles d'intervention étrangers*, rapport n° 3 de la série «Pour une gestion intégrée», Québec, 1987, 101 p.

Ministère de l'Environnement du Québec. *La gestion des déchets solides*, rapport n° 5 de la série «Pour une gestion intégrée des déchets», Québec, 1987, 70 p.

Ministère de la qualité de la vie (France). Haut Comité de l'Environnement, *La pollution par le mercure et ses dérivés*, monographies scientifiques sur les polluants chimiques, Paris, 1974, 69 p.

NICHOLSON, R. Toronto Recycling Action Committee (TRAC), entretien téléphonique le 22 février 1988.

Office fédéral de la santé publique (Suisse). *Pourquoi un ramassage séparé des piles au mercure usées? Aide-mémoire pour vendeurs de piles*, Berne, Suisse, 1980, 12 p.

Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse). *Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement (OSUBST)*, Berne, 9 juin 1987, 87 p.

Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse), *Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)*, Berne, 16 décembre 1985, 68 p.

Office fédéral de la protection de l'environnement (Suisse). Tableaux fournis lors d'un entretien avec Monsieur M. Tellenbach, Berne, le 18 septembre 1987.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *Mesures destinées à réduire les émissions de mercure provenant d'activités humaines dans l'environnement*, échange d'information sur le mercure pour 1982, rapport succinct, Paris, 1985, 60 p.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Direction de l'environnement, *Mesures destinées à réduire les émissions de mercure provenant d'activités humaines dans l'environnement*, Paris, 1981, 62 p.

Organisation mondiale de la santé. *Critères d'hygiène de l'environnement - Mercure*, Genève, 1977, 150 p.

PETRO-SUN. *La valorisation dans le cadre d'une gestion intégrée des déchets*, mémoire préparé pour le ministère de l'Environnement du Québec, 1987.

PIODA, L. Office fédéral de la santé publique, Berne, lettre du 1er mai 1987.

ST-AUBIN, P. «Des déchets spéciaux», *T.S.M.- L'Eau*, vol. 78, n° 4, avril 1983, p. 173-176.

SCHARER, M.J. «Ramassage des piles au mercure usagées en vue de récupérer le mercure», *Bulletin du Service fédéral de l'hygiène publique (Suisse)*, novembre 1976, p. 590-592.

Statistique Canada. «*Fabrication des produits électriques divers 1984*», Ottawa.

TELLENBACH, M. Office fédéral de la protection de l'environnement (OFPE), Berne (Suisse), entretien le 18 septembre 1987.

TELZROW, T.N. Eveready Battery Company Inc., Cleveland, Ohio, lettre du 25 avril 1988.

THOMAS REGISTER. *Data Book Statistics*, 1987.

U.S. Environmental Protection Agency. *Hazardous Waste Disposal Program Tenth Monthly Report*, rapport n° 21485-6010-T0-00, novembre 1972.

WILSON, D.A. et B.J. WIEGARD. *Recovery of Cadmium and Nickel From Scrap Batteries*, rapport effectué pour le U.S. Bureau of Mines, Washington, 1971.

YAKOWITZ, H. OCDE, Paris, entretien le 24 septembre 1987.

ZAUGG, J., THOMMEN, P. et M. BIERRI. Amt Fur Gewasserschutz Und Wasserbau, Zurich, entretien le 16 septembre 1987.

[s.n.]. «Home Batteries a Threat when Burned», *Vancouver Sun*, 5 février 1988.

[s.n.]. «Incinerators take over where the land runs out», *Vancouver Sun*, 18 janvier 1988, p. A1-A5.

[s.n.]. «Piles usées», *Union des villes suisses*, documentation provenant de la correspondance, janvier 1986, p. 38.

[s.n.]. «Batteries Pollute Japanese Landfills», *Biocycle*, novembre/décembre 1984, p. 56.

[s.n.]. «Japan facing mercury threat», *Eng. News-Record*, vol. 213, n° 2, juillet 1984.

[s.n.]. «Charges polluantes des piles en Suisse», documentation provenant de la correspondance, [s.d.], 1 p.

Annexe

Liste des organismes

ANRED
2, Square La Fayette
B.P. 406
49004 Angers Cedex
France

M. Pascal Baranger, ingénieur du département de Consommation
M. Daniel Beguin, chef du département de Consommation

DUCLOS ENVIRONNEMENT
86, route Nationale
13240 Septème les Vallons
France

SNAM
Société nationale d'affinage des métaux
Rue de la Garenne
Z.I. de Tharabie
St-Quentin-Favallier
38290 La Verpillière France
M. Jacques David

SETACI
6, rue Métropole
73000 Chambery France
M. M.L. Durand

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
(Bundesamt fur Umweltschutz) BUS
Section déchets & technologies de traitement
Hallwaylstrasse 4
CH 3003 Berne Suisse
M. Mathias Tellenbach

ACTION POUR LA PROPRETÉ EN SUISSE
Kernstr. 31
CH 8026 Zurich Suisse
M^me^ Miriam Bieri, secrétaire

INSTITUT FÉDÉRAL POUR L'AMÉNAGEMENT, L'ÉPURATION ET LA PROTECTION DES EAUX (EAWAG)
(Swiss Federal Institute of technology)
Section des déchets solides
Uberlandstrasse 133
CH 8600 Dubendorf Suisse
Prof. Baccini

LECLANCHÉ SA
48, Av. de Grandson
CH-1401 Yverdon Suisse
M. Rüetschi, directeur technique

FÉDÉRATION DES COOPÉRATIVES MIGROS
Migros-Genossenschafts-bund
Département marketing
Limmatstrasse 152
CH 8005 Zurich Suisse
M. R. Biber et M. Gugelman

AMT FUR GEWASSERSCHUTZ
Lumatrastrasse
Walcheplatz
CH 8001 Zurich Suisse
M. Jurg Zaugg, ingénieur

AFIF, ETH-ZENTRUM (ETZ)
Gloriastrasse 35
CH-8092 Zurich Suisse
M. P.Bohac

EIC S.A.
Muhlebachstr. 54
CH-8008 Zurich Suisse
M. A.Vital

ORFA-UMWELTTECHNIK AG
Pfingstweidstr. 101
Postfach 266
CH-8031 Zurich Suisse
M. H. Meier

EUROPILE
Association des fabricants de piles électriques
General Auditing Company Ltd.
Waisenhausplatz 25
P.O. Box 2613
CH-3001 Berne Suisse
M. H.G. Herzberg

RECYTEC S.A.
Résidence de la Côte 70
App. 41
CH-1110 Morges Suisse
M. Fiola

UMWELTBUNDESAMPT
Bismark Platz 01
D-1000 Berlin 3 RFA
M. W. Genest

VROM
SOLID WASTE DIVISION
DGMH-Bldg
M. V.D. Stamstraat 2,
P.O. Box 450
2260 MB Leidschendam Pays-Bas
M. Rolf Bohmann et M. Hans Erasmus

FME/NEFIBAT
Bredewater 20
2715 CA Zoetermeer Pays-Bas
M. M.C. Meiyer

BATTREX ZEGWAARD-DELFT B.V.
Schieweg 60
P.O. Box 131
2600 AC Delft Pays-Bas
M. N. Struijk

LETO RECYCLING B.V.
Beddrijvenpark N.W. Twente 243
7612 AC Aadorp Pays-Bas
M. A.J. Schutman

TNO
P.O. Box 217
Schoemakerstraat 97
2600 AE Delft Pays-Bas
M. D. Schmal, Dept. Environmental Technology

CONFÉDÉRATION BELGE DE LA RÉCUPÉRATION (COBEREC)
Place du Samedi, 13 B.L. 5/6
1000, Bruxelles Belgique
M. Étienne Cochaux

UK DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT
Noise, Nuisance & Waste Division
Romney House 43
Marsham Street, London SW1 3PY
Room A2/22, Royaume-Uni
M^{me} A.H. Wood

HEAVY METALS SECRE.
CEP. Consultants Ltd
26 Albany Street
Edinburgh EH1 3QH Royaume-Uni

NATIONAL ENVIRONMENT PROTECTION BOARD
Statens Naturuardsverk
Technical Dpt
Waste Mngt & Recycling
Box 1302
C.P. S-17125 Solna, Suède
M. Anders Kjallman, agent technique supérieur

MILJOESTYRELSEN (Ministry of the Environment)
Strandgrade 29
D.K. 1401
Copenhagen K Danemark
Mme Charlotte Christenson

VOEST-ALPINE CO.
P.O.B. 2
4010 Linz Autriche

COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE EUROPÉENNE
Direction générale de l'environnement et de la protection du consommateur (COMEUR)
200, rue de la Loi
B-1049 Bruxelles Belgique
M. J.M. Junger

BUREAU INTERNATIONAL DE LA RÉCUPÉRATION
13, Place du Samedi Bte 4
1000, Bruxelles Belgique
M. Francis Veys, secrétaire général BIR

OCDE
Environment Directorate Division
2, rue André-Pascal
75775 Paris Cedex France
M. H. Yackovich

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES
Environmental Information Division
Yatabe-machi, Tsukuba
Ibaraki, 305 Japon
M. Suckehiro Gotoh, directeur

NOMURA KOSAN CO. LTD
Sankei Building. Annex,
7-02 Ohte Machi
1-Chome, Choyoda-ku
Tokyo 100 Japon
M. Kumeo Koike, directeur

ENVIRONMENT AGENCY
International Affairs Division
1-2-2 Kasumigaseki
Chiyoda-ku
Tokyo Japon
M. Kuniko Sato

JAPAN BATTERY & APPLIANCE INDUSTRIES ASSOCIATION
No. 9 Mori Bldg
2-2 Atago
1-chome, Minato-ku
Tokyo 105 Japon
M. Masao Shinohara

CLEAN JAPAN CENTER
8 No. 2 Akiyama Bldg., 3-6-1
Toranomon, Minato-ku
Tokyo 105 Japon

WASTE MANAGEMENT DIVISION
Environmental Sanitation Department
Environmental Health Bureau
Ministry of Health and Welfare
1-2-2, Kasumigaseki,
Chiyoda-ku, Tokyo 100 Japon

NEW JERSEY ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
CN 414, 802 Labor and Industry Bldg.
Trenton NJ 08625 États-Unis
M. Michael F. de Bonis, directeur intérimaire
M^me^ Athena Sarafides, Dept. Environmental Protection

ENVIRONMENTAL ACTION COALITION
625 Broadway
2nd floor
New York, N.Y. États-Unis
M. David Hurd

SOUTHWEST MISSOURI STATE UNIVERSITY
901 South National Avenue - Box 87
Springfield, Missouri États-Unis
M^me^ Mary Steinwachs

MERCURY REFINING LTD
790 Watervliet-Shaker road
Latham, N.Y. 12110 États-Unis
M. Leo Cohen

NEW JERSEY & NEW HAMPSHIRE SOLID WASTE DIVISION
Room 336, Moody Building
Claremont, New-Hampshire 03743
États-Unis
M^me^ Connie Leach

TORONTO RECYCLING ACTION COMMITTEE (TRAC)
Canada
M. Russel Nicholson

GREATER VANCOUVER REGIONAL DISTRICT
4340 Kingsway, Engineering floor
Burnaby, B.C. V5H 4G8 Canada

HEVMETT RECYCLING LTD.
Port Colborne (Ontario)
Canada
M. Gary Mann

MOLI ENERGY
3958 Myrtle
St-Barnaby, B.C. Canada
M. Herb Wang

CANADIAN BATTERY
MANUFACTURERS' ASSOCIATION
1 Yonge St., Suite 1400
Toronto (Ontario) Canada
M. Alex C. Dick, gestionnaire